REABILITAÇÃO ESTRUTURAL DE EDIFÍCIOS ESCOLARES

Estudo de soluções de reforço estrutural implementadas em duas escolas industriais

MÁRIO FILIPE DO POMAR BRÁS

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Júri

Presidente: Prof. Doutor Albano Luís Rebelo da Silva das Neves e Sousa

Orientadores: Prof. Doutor João Paulo Janeiro Gomes Ferreira

Prof.ª Doutora Teresa Frederica Tojal de Valsassina Heitor

Vogais: Prof. Doutor Jorge Miguel Silveira Filipe Mascarenhas Proença

Prof. Doutor António Manuel Candeias de Sousa Gago

Outubro de 2013

“A educação é o que permanece depois de esquecido tudo o que se aprendeu na escola.”

Albert Einstein

RESUMO

Esta dissertação visa a identificação de técnicas de reforço estrutural utilizadas em escolas intervencionadas no âmbito do Programa de Modernização das Escolas Destinadas ao Ensino Secundário (PMEES), efectivado pela empresa Parque Escolar, E.P.E..

A dissertação divide-se em três partes interligadas. Na primeira, faz-se uma descrição do PMEES e identificam-se os seus objectivos e princípios de intervenção. Na seguinte, analisam-se duas intervenções no âmbito do PMEES, fazendo-se uma descrição geral das empreitadas, enumerando algumas técnicas de reforço estrutural aplicadas. Por último, detalham-se as referidas técnicas de reforço estrutural.

Na Escola Secundária Rainha Dona Leonor (Lisboa), edificada durante a década de 1960, foi construído um novo edifício para albergar a biblioteca e salas de professores, reforçando-se os edifícios existentes à acção sísmica. No corpo central, introduziram-se paredes resistentes de betão armado fundadas em microestacas, enquanto no ginásio existente construíram-se pórticos treliçados metálicos. Na Escola Secundária Rainha Santa Isabel (Estremoz), construída em 1962, também se edificou um novo corpo para albergar laboratórios e refeitório, sendo ainda reforçada a resistência ao sismo dos edifícios existentes. Adicionaram-se elementos resistentes em betão projectado, aplicados pelo exterior do corpo principal e do ginásio existente. Foi ainda reforçada uma laje, que apresentava deformação excessiva, através do uso de materiais compósitos – laminados de fibra de carbono.

As técnicas de reabilitação utilizadas nas duas escolas em análise foram seleccionadas de modo a obter-se a melhor combinação possível entre a rigidez, a capacidade resistente e a capacidade de deformação dos elementos estruturais solicitados à acção de um sismo.

PALAVRAS-CHAVE: Parque Escolar, reforço sísmico, paredes resistentes em betão armado, pórticos metálicos, betão projectado, laminados de carbono.

ABSTRACT

This dissertation aims to identify structural reinforcement techniques used in schools intervened in the secondary school modernisation programme: "*PMEES*". The programme was carried out by the company *"Parque Escolar"*.

The dissertation is divided into three interconnected parts. At first, we describe *"PMEES"* and identify its goals and principles of intervention. In the following, we analyze two interventions of the "*PMEES"* at two schools. It accomplished a description the intervention performed and the techniques employed for structural reinforcement. Finally, these are detailed structural reinforcement techniques adopted.

Rainha Dona Leonor High School in Lisbon was built during the 1960s. It was constructed a new build to install the library and teachers room. The existent buildings were strengthened to the seismic behaviour with concrete shear walls founded on footings reinforced with micropiles. It was also used a steel bracing solution to increase stiffness in the longitudinal direction of the gym's building. Another example of seismic reinforcement was the introduction of new resistant end frames applied in shotcrete outside of Rainha Santa Isabel High School in Estremoz. In this school was constructed a new build to establish laboratories and refectory. It was further reinforced a slab that presented excessive deformation with composite materials – carbon fibre reinforced polymer (CFRP).

The rehabilitation techniques used in this two analysed schools are selected to obtain the best possible combination of stiffness, load bearing capacity and deformation capacity of the structural elements during the earthquake.

KEYWORDS: *Parque Escolar*, seismic reinforcement, reinforced concrete shear walls, metal frames, shotcrete, carbon laminates.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero salientar o meu reconhecimento ao Prof. João Gomes Ferreira, meu orientador, por todo o auxílio prestado, preocupação e perseverança demonstrada durante o período de execução deste trabalho. Agradeço à Prof.ª Teresa Heitor, minha co-orientadora, pela ajuda e disponibilidade na recolha de informação e pela delineação da estratégia a seguir. Quero ainda agradecer ao Prof. Jorge Proença pelas sugestões apresentadas e à Arq. Diana Vaz (Parque Escolar) pelo material fornecido.

Em relação às empreitadas em estudo, quero deixar uma palavra de agradecimento pela colaboração na recolha de documentação e pelo apoio e disponibilidade durante as visitas aos seguintes intervenientes:

ESRDLeonor – Lisboa

- Arq. Francisco Teixeira Bastos (Projectista – Atelier dos Remédios)
- Arq. Vitor Mingacho (Projectista – Atelier dos Remédios)
- Eng.º João Maltez (Fiscalização da Obra – Tecnoplano)
- Prof. Rui Miguel Pires (Membro da Direcção da Escola)

ESRSIsabel – Estremoz

- Arq. José Laranjeira (Projectista – Oficina Ideias em Linha)
- Eng.º Bruno Jacinto (Fiscalização da Obra)
- Prof. José Carlos Salema (Presidente da Direcção da Escola)
- Prof.ª Fernanda Martins Correia (Membro da Direcção da Escola)

Por último, deixo um agradecimento muito especial à minha família, nomeadamente, à Raquel, à minha mãe, ao meu pai, à minha tia e aos meus avós. Quero também agradecer a colaboração de todos os meus amigos, em especial do Jorge Carola, do Cobanco, do Lage, do Ricardo e da Prof.ª Rosalina Xarepe.

O mais importante dos agradecimentos, por não ter outra forma de o fazer, é endereçado à Dona Constantina, que sempre demonstrou uma coragem e força de vontade inigualável. Mesmo extremamente debilitada teve sempre paciência para me incentivar e aguardar por mim, enquanto me reunia com o meu orientador.

Bem-haja o dia em que a conheci.

ABREVIATURAS

AVAC – Aquecimento, ventilação e ar condicionado

CFRP – *Carbon fibre reinforced polymer* (Polímero reforçado com fibra de carbono)

EC8 – Eurocódigo 8 (Projecto de estruturas em regiões sísmicas)

EPS – *Expanded polystyrene* (Poliestireno expandido)

ESRDL – Escola Secundária Rainha Dona Leonor (Lisboa)

ESRSI – Escola Secundária Rainha Santa Isabel (Estremoz)

ETICS – *External Thermal Insulation Composite Systems*

GRC – *Glass Reinforced Concrete*

JAEES – Junta Administrativa do Empréstimo para o Ensino Secundário

JCETS – Junta de Construção para o Ensino Técnico e Secundário

MOP – Ministério das Obras Publicas

PMEES – Programa de Monitorização de Escolas Destinadas ao Ensino Secundário

PVC – *Polyvinyl Chloride* (Policloreto de polivinilo)

RGE – Regulamento Geral de Edificações

RGEU – Regulamento Geral de Edificações Urbanas

ÍNDICE

Capitulo I – Introdução 1

1. Enquadramento temático 3

1.1. Preâmbulo 3

1.2. Reabilitação estrutural 4

2. Objectivos 5

3. Justificação 5

4. Metodologia 6

5. Desenvolvimento do trabalho 6

Capitulo II – Programa de Modernização das Escolas destinadas ao Ensino Secundário (PMEES) 9

1. Estado das construções antes da aplicação do plano de modernização escolar 11

1.1. Primeiro período de construção (até 1935) 11

1.2. Segundo período de construção (de 1936 até 1968) 12

1.3. Terceiro período de construção (a partir de 1968) 13

2. Objectivos do Programa de Modernização das Escolas destinadas ao Ensino Secundário (PMEES) 13

2.1. Requalificação das infraestruturas escolares 14

2.2. Abertura da escola à comunidade 14

2.3. Manutenção e gestão dos edifícios requalificados 14

3. Estratégia de intervenção 15

3.1. Planeamento 15

3.2. Ferramentas de programação 15

3.3. Projectos 16

3.4. Empreitadas e fiscalização de obras 16

4. Modelo organizacional do edifício escolar 17

5. Escolas industriais e comerciais 19

Capitulo III – Casos de estudo 23

1. Escola Secundária Rainha Dona Leonor – São João de Brito, Lisboa 25

1.1. Enquadramento 25

1.2. A empreitada 26

1.2.1. Situação pré-intervenção 26

1.2.2. Intervenção 29

1.3. Técnicas de reabilitação/reforço estrutural utilizadas na Escola Secundária Rainha Dona Leonor 35

1.3.1. Paredes resistentes em betão armado fundadas em microestacas para reforço sísmico 35

1.3.2. Pórticos treliçados metálicos para reforço sísmico do ginásio 37

2. Escola Secundária da Rainha Santa Isabel de Estremoz 39

2.1. Enquadramento 39

2.2. A empreitada 40

2.2.1. Situação pré-intervenção 40

2.2.2. Intervenção 41

2.3. Técnicas de reabilitação/reforço estrutural utilizadas na Escola Secundária Rainha Santa Isabel 53

2.3.1. Introdução de elementos resistentes executados em betão projectado para reforço sísmico 53

2.3.1. Reforço à flexão de vigotas com laminados de carbono em laje aligeirada 56

Capitulo IV – Técnicas de reabilitação estrutural utilizadas nos casos de estudo 59

1. Enquadramento teórico 61

1.1. Reabilitação e/ou reforço de estruturas de betão armado 61

1.2. Estratégias de reforço sísmico 63

1.3. Técnicas de reforço sísmico 68

2. Adição de novas paredes resistentes de betão armado para reforço sísmico 72

2.1. Características 72

2.2. Vantagens 75

2.3. Desvantagens 75

2.4. Aplicações 76

2.5. Modo de execução 76

3. Adição de pórticos treliçados metálicos para reforço sísmico 78

3.1. Características 78

3.2. Vantagens 80

3.3. Desvantagens 80

3.4. Aplicação 80

3.5. Modo de execução 80
4. Reforço à flexão de laje de vigotas com laminados de carbono 82
4.1. Características 82
4.2. Vantagens 83
4.3. Desvantagens 83
4.4. Aplicações 84
4.5. Modo de execução 86
Capitulo V – Considerações finais 91
Bibliografia 97
Anexos A-1
I. Relatórios de visitas às empreitadas em estudo A-3
a. Escola Secundária Rainha Dona Leonor – Lisboa A-3
b. Escola Secundária da Rainha Santa Isabel – Estremoz A-7
II. Levantamento fotográfico A-10
a. Escola Secundária Rainha Dona Leonor – Lisboa A-10
i. Localização A-10
ii. Antes da intervenção A-10
iii. Durante a empreitada A-11
iv. Após conclusão das obras A-12
b. Escola Secundária da Rainha Santa Isabel – Estremoz A-14
i. Localização A-14
ii. Antes da intervenção A-14
iii. Durante a empreitada A-16
iv. Após conclusão das obras A-17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo organizacional da construção escolar 17
Figura 2 – *Learning Street* 18
Figura 3 – Ante-projecto tipo para escolas profissionais 19
Figura 4 – Corpo principal 20
Figura 5 – Corpo de educação física com escada de acesso directo ao exterior 20
Figura 6 – Pormenor de *shed* 20
Figura 7 – Modelo de organizacional das escolas técnicas 21
Figura 8 – Alçado Sul do Palácio Ribeira 25
Figura 9 – Plano de urbanização da zona a Sul da Avenida Alferes Malheiro 25
Figura 10 – Planta do lote antes da intervenção 26
Figura 11 – Antigo acesso ao ginásio 27
Figura 12 – Pérgola que alberga o bar 27
Figura 13 – Corpo de educação física 27
Figura 14 – Fachada Sul com entrada provisória de emergência 27
Figura 15 – Construção da 1.ª fase do Liceu Dona Leonor 28
Figura 16 – Conclusão da 1.ª fase de construção do Liceu Dona Leonor 28
Figura 17 – Planta de localização 29
Figura 18 – Corte transversal N/S dos Blocos 1 e 2 30
Figura 19 – Vista geral do lote 31
Figura 20 – Armazenamento de varões 31
Figura 21 – Faseamento da obra 32
Figura 22 – Sistema AVAC 32
Figura 23 – Corte transversal pelo Bloco 2 e Bloco 3 33
Figura 24 – Escada escavada à mão 34
Figura 25 – Diagonal de reforço sísmico 34
Figura 26 – Módulos do edifício principal e bloco de salas Nascente 35
Figura 27 – Parede de betão armado 36
Figura 28 – Modelo estrutural 36
Figura 29 – Dispositivo para supressão parcial das juntas de dilatação 37
Figura 30 – Fundação da parede 37
Figura 31 – Microestacas de reforço 37
Figura 32 – Planta do antigo ginásio com a localização de pórticos metálicos treliçados introduzidos 38
Figura 33 – Ginásio grande 38
Figura 34 – Pórtico metálico de reforço 38
Figura 35 – Lápide 39
Figura 36 – Planta com o levantamento do existente no lote 40
Figura 37 – Esboço do projecto 42
Figura 38 – Projecto 42

Figura 39 – Reforço de viga diagonal através de adição de chapas metálicas 45
Figura 40 – Lajes aligeiradas da cobertura 46
Figura 41 – Vigas transversais existentes 46
Figura 42 – Pormenor da planta da cobertura 46
Figura 43 – Pormenor construtivo da ligação laje-viga 46
Figura 44 – Divisão do Corpo B 47
Figura 45 – Modelo estrutural do Corpo B – Bloco 3 47
Figura 46 – Esquema do rebaixamento da cota em fundações 48
Figura 47 – Rebaixamento da cota da fundação 48
Figura 48 – Exemplo de sapatas 48
Figura 49 – Esquema da planta de fundações do Corpo B 49
Figura 50 – Inspecção ao tabuado do ginásio 49
Figura 51 – Modelo estrutural do pavilhão 50
Figura 52 – Cobertura autoportante 50
Figura 53 – Tectos falsos em gesso cartonado com isolamento acústico 51
Figura 54 – Sistema de isolamento acústico em paredes 51
Figura 55 – Pormenor sistema ETICS 52
Figura 56 – Sombreamento das janelas 52
Figura 57 – Poliuretano projectado 53
Figura 58 – Sistema ETICS 53
Figura 59 – Modelo de reforço sísmico do Corpo A 53
Figura 60 – Picagem da estrutura para ligação de elementos de reforço 53
Figura 61 – Colocação de armaduras 54
Figura 62 – Betonagem com betão projectado 54
Figura 63 – Execução de cofragens 54
Figura 64 – Estrutura reforçada 54
Figura 65 – Planta de fundações do Corpo A 55
Figura 66 – Pormenor da ligação entre pilares de reforço e as sapatas de betão existentes 55
Figura 67 – Planta do piso 1 do Corpo C, com indicação da laje reforça 56
Figura 68 – Cobertura da laje 56
Figura 69 – Degradação da laje 56
Figura 70 – Aplicação de laminado CFRP 57
Figura 71 – Isolamento térmico da laje reforçada 57
Figura 72 – Exemplo aplicação da estratégia de melhoria da regularidade 64
Figura 73 – HDRB (*High damping rubber bearing*) 65
Figura 74 – Dissipadores histeréticos usados na Ponte Vasco da Gama 66
Figura 75 – Esquema de dispositivo visco-elástico 66
Figura 76 – Dissipador electro-indutivo 66
Figura 77 – Dissipadores por atrito, Universidade de Concordia, Canadá 67
Figura 78 – Dissipador viscoso 67

Figura 79 – Reforço ao esforço transverso por adição de chapas 69
Figura 80 – Escoramento aquando da construção de parede resistente na ESRDL 72
Figura 81 – Parede resistente na ESRDL 72
Figura 82 – Esquema de uma microestaca 75
Figura 83 – Execução de microestaca 75
Figura 84 – Demolições na construção da fundação da parede resistente 76
Figura 85 – Execução de microestacas 76
Figura 86 – Superfície rugosa de pilar na ESRSI 78
Figura 87 – Execução de pórticos resistentes em betão projectado na ESRSI 78
Figura 88 – Contraventamentos metálicos no edifício do dormitório da Universidade da Califórnia em Berkeley, CA 79
Figura 89 – Contraventamentos de uma diagonal, em X, em K e em V 79
Figura 90 – Laminados de carbono 83
Figura 91 – Laminado de carbono com a resina epoxídica 83
Figura 92 – Reforço do tabuleiro de uma ponte com CFRP 84
Figura 93 – Reforço de uma laje com FRP 84
Figura 94 – Esquema da colocação e selagem de varões de material compósito 85
Figura 95 – Selagem de ranhuras após colocação do material compósito 85
Figura 96 – Reforço de vigotas com laminados de carbono 87
Figura 97 – Sistema de reforço com laminados de carbono 88
Figura 98 – Aplicação do adesivo epóxido no laminado de carbono 88

Anexo

Ilustração 1 – Entrada A-4
Ilustração 2 – Escada de acesso aos pisos superiores A-4
Ilustração 3 – Sistemas AVAC sobre a cobertura A-4
Ilustração 4 – Cobertura da biblioteca A-4
Ilustração 5 – Biblioteca A-4
Ilustração 6 – Instalações sanitárias dos balneários A-4
Ilustração 7 – Antiga entrada principal A-5
Ilustração 8 – Reforço de fundações com microestacas A-5
Ilustração 9 – Demolições A-5
Ilustração 10 – Estaleiro da obra A-6
Ilustração 11 – Futuro laboratório A-7
Ilustração 12 – Colocação de tubagens A-7
Ilustração 13 – Acesso ao edifício principal A-8
Ilustração 14 – Equipamento de aquecimento/arrefecimento A-8
Ilustração 15 – Fachada principal A-9
Ilustração 16 – Ginásio com corredores de acesso A-9

Ilustração 17 – Campo de jogos coberto A-9
Ilustração 18 – Bar e refeitório A-9
Ilustração 19 – Equipamentos de cozinha A-9
Ilustração 20 – Laboratório de electrónica A-9
Ilustração 21 – Implantação da obra no Bairro de Alvalade A-10
Ilustração 22 – Entrada principal A-10
Ilustração 23 – Escadaria central A-10
Ilustração 24 – Estátua da Rainha D. Leonor A-10
Ilustração 25 – Pátio A-11
Ilustração 26 – Corredor central A-11
Ilustração 27 – Sala de aula A-11
Ilustração 28 – Laboratório A-11
Ilustração 29 – Zona entre a laje de esteira e a cobertura inclinada A-11
Ilustração 30 – Isolamento térmico da laje de esteira A-11
Ilustração 31 – Janelas de alumínio A-11
Ilustração 32 – Janelas restauradas A-11
Ilustração 33 – Condutas de ventilação A-12
Ilustração 34 – Corredor central A-12
Ilustração 35 – Piquetagem de viga A-12
Ilustração 36 – Demolição de viga A-12
Ilustração 37 – Pátio A-12
Ilustração 38 – Entrada principal A-12
Ilustração 39 – Portaria A-12
Ilustração 40 – Pormenor de talude A-12
Ilustração 41 – Fachada Norte A-13
Ilustração 42 – Fachada Sul A-13
Ilustração 43 – Secretaria A-13
Ilustração 44 – Laboratório Biologia A-13
Ilustração 45 – Balneários A-13
Ilustração 46 – Sala de apresentações A-13
Ilustração 47 – Condutas de ventilação A-13
Ilustração 48 – Implantação da obra A-14
Ilustração 49 – Fachada Sudoeste A-14
Ilustração 50 – Alçado Sudeste A-14
Ilustração 51 – Corpo do ginásio A-14
Ilustração 52 – Corredores de ligação cobertos A-14
Ilustração 53 – Antiga entrada principal A-15
Ilustração 54 – Secretaria A-15
Ilustração 55 – Refeitório A-15
Ilustração 56 – Sala de aula A-15

Ilustração 57 – Sala de convivo de alunos.....A-15
Ilustração 58 – Laboratório de biologia.....A-15
Ilustração 59 – Corpo de oficinas de mecânica.....A-15
Ilustração 60 – Sala de aulas de electricidade.....A-16
Ilustração 61 – Pormenor sistema de aquecimento.....A-16
Ilustração 62 – Demolições na zona das oficinas.....A-16
Ilustração 63 – Condutas pelo exterior da fachada.....A-16
Ilustração 64 – Painéis de fachada em GRC tipo "*Glasscrete*".....A-16
Ilustração 65 – Fachadas viradas a Sul.....A-17
Ilustração 66 – Topo Nordeste, Bloco A.....A-17
Ilustração 67 – Sala de aula.....A-17
Ilustração 68 – Bloco B.....A-17
Ilustração 69 – Sala de teatro.....A-17
Ilustração 70 – Laboratório de biologia.....A-17
Ilustração 71 – Campos de jogos.....A-17

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Fases da empreitada..... 44
Quadro 2 – Categoriais de intervenção em edifícios segundo o RGE..... 62
Quadro 3 – Intervenção de reforço sísmico em estruturas de betão armado..... 68

1. ENQUADRAMENTO TEMÁTICO

1.1. Preâmbulo

"Os programas de reabilitação do edificado urbano têm, até agora, privilegiado as fachadas e as coberturas para redução de infiltrações de água ou, quanto muito, as condições de habitabilidade, mas têm descurado claramente a resistência estrutural. A reabilitação de edifícios em zonas sísmicas como Lisboa deveria incluir a sua melhoria e, nalguns casos, eventual adequação sísmica, a exemplo do que acontece noutros países, como os Estados Unidos da América e a China, e como é preconizado no EC8" (Cóias, 2007).

Ainda como Cóias (2007) evidencia, o conceito de reabilitação de uma construção aparece, invariavelmente, ligado à noção de utilidade – reabilitar consiste na "reparação ou modificação de uma estrutura, de modo a obter um determinado estado de utilidade" (Cóias, 2007).

A restituição das propriedades em construções ocorre, fundamentalmente, em três níveis, estando os dois primeiros intrinsecamente ligados:

- desempenho do envelope ou invólucro exterior (fachada e cobertura);
- condições de habitabilidade e conforto (abrangendo ou não instalações e sistemas – poderá incluir-se o desempenho energético);
- comportamento estrutural (Cóias, 2007).

O primeiro nível está aliado à estética do sítio urbano onde o edifício está inserido. Porém, também poderá condicionar bastante o nível dois, na medida em que a ocorrência de falhas na envolvente exterior provoca degradação das condições de comodidade no interior dos imóveis (Cóias, 2007).

O segundo nível de reabilitação diz respeito ao bem-estar e conforto das pessoas, com particular enfase nos utilizadores dos edifícios. Para responder às suas necessidades e exigências de conforto existem hoje disponíveis no mercado sistemas e equipamentos que permitem melhorar os acessos (escadas, elevadores), as cozinhas, as instalações sanitárias, a iluminação, os sistemas de ventilação e ar condicionado, as instalações eléctricas e comunicações. Existem mesmo sistemas que permitem responder a essas necessidades de um modo pouco invasivo, isto é, causando o mínimo de perturbação à estrutura e acabamentos dos edifícios (Cóias, 2007).

O último nível é o que se afigura com maior relevância, uma vez que está directamente ligado com a segurança de pessoas e bens, em particular quando está em causa a acção sísmica. Infelizmente, constitui o aspecto mais descurado, e a razão é simples: as intervenções nesta vertente, segundo as técnicas tradicionais, interrompem ou perturbam a normal utilização dos edifícios, são erradamente consideradas à partida como caras, e aparentemente não se traduzem em benefícios imediatos. Esta questão agudiza-se quando envolve simultaneamente

um importante volume de edificado urbano decrépito e o risco dum abalo sísmico intenso – situação existente na região centro-sul de Portugal (Cóias, 2007).

Custos da má concepção

Quando se analisam os custos inerentes a um edifício, desde a sua fase de concepção à sua demolição, verifica-se que estes se distribuem aproximadamente da seguinte forma:

- 2 a 5% – custos de concepção, projecto e fiscalização;
- 15 a 20% – custos de construção;
- 75 a 80% – custos de utilização e manutenção (Cóias, 2006).

Por outro lado, as principais causas de encargos de reabilitação de construções são:

- 42% – concepção e projecto;
- 25% – má execução;
- 17% – materiais inadequados;
- 10% – má utilização e manutenção;
- 6% – outras falhas (Cóias, 2006).

Com estes dados, podemos verificar que a qualidade da concepção, projecto e construção é decisiva para a redução dos custos ao longo da vida útil de um edifício, pois os erros na fase inicial originam necessidades de reabilitação (Cóias, 2006).

1.2. Reabilitação estrutural

A estratégia mais simples para a remodelação estrutural, principalmente nas construções mais antigas, é a sua demolição total, eventualmente, aproveitando as fachadas. Porém, devido a inúmeras razões, tanto de carácter económico, como pelo seu valor arquitectónico, deve fomentar-se a sua reabilitação ou reforço, em detrimento de soluções mais radicais de destruição completa (Cóias, 2007).

Analisando as intervenções que geralmente se efectuam na recuperação de estruturas em betão armado, pode afirmar-se que existem factores que condicionam o bom desempenho das mesmas, nomeadamente os seguintes:

- deficiente conhecimento dos mecanismos de deterioração do betão armado;
- falta de preparação específica dos agentes: donos de obra, engenheiros, construtores, operários e fiscais;
- insuficiente ênfase na patologia e na recuperação das estruturas de betão armado, ao nível do ensino profissional e superior;
- insuficiente divulgação das técnicas de diagnóstico das anomalias das estruturas de betão armado;

- complexidade das intervenções, exigindo minúcia e rigor incompatíveis com os hábitos e os condicionamentos dos estaleiros correntes de construção civil e obras públicas;
- execução das intervenções de recuperação sem prévio diagnóstico da situação e sem um projecto de recuperação suficientemente pormenorizado;
- utilização de materiais e técnicas que não se adaptam aos requisitos das intervenções de recuperação;
- má aplicação de materiais;
- peso excessivo do factor "custo" na selecção das propostas, em detrimento das garantias de qualidade e de durabilidade;
- peso excessivo dos factores de curto prazo, em detrimento dos de longo prazo;
- insuficiente pormenorização dos projectos e cadernos de encargos;
- insuficiente exigência da fiscalização (Cóias, 2006).

Quando se trata de reforço de edifícios existentes à acção sísmica, ainda se podem acrescentar as seguintes dificuldades:

- falta de informações sobre o projecto original;
- falta de informações sobre o que foi efectivamente construído;
- falta de informações sobre o grau de conservação ou degradação do construído;
- pouca fidelidade dos modelos de análise com o realmente construído;
- inadequação ao grau de segurança pretendido ou ao regulamento em vigor (Flor, et al., 2009).

2. OBJECTIVOS

Esta dissertação visa estudar a abrangência do Programa de Modernização das Escolas Destinadas ao Ensino Secundário (PMEES), criado em 2007 e executado pela empresa Parque Escolar, E.P.E.. Procura transmitir simplificadamente os seus pressupostos, assim como o seu impacto na realidade escolar portuguesa.

Outro dos objectivos é efectuar um estudo das técnicas de reforço estrutural, especialmente reforço sísmico, utilizadas na reabilitação de edifícios escolares no âmbito do PMEES.

Por último, define-se ainda como objectivo deste trabalho, o enriquecimento pessoal do autor em termos de experiência prática em obra e promoção de capacidades de comunicação e recolha de informação junto dos intervenientes de uma empreitada – dono de obra, projectistas, fiscalização e empreiteiros.

3. JUSTIFICAÇÃO

Nesta dissertação procura-se apresentar os princípios orientativos do PMEES, pois estes estão na base da escolha, pelos projectistas, das técnicas de reabilitação utilizadas nas empreitadas.

O PMEES define através dos manuais de arquitectura, arquitectura paisagística, instalações técnicas, acessibilidades e manual das bibliotecas escolares uma série de regras a seguir, em todas as empreitadas, pelos diferentes projectistas. O conhecimento dessas regras é muito importante na escolha das técnicas de reabilitação, pois elas definem o nível de intervenção, quer no que respeita ao conforto, quer a nível estrutural.

Identificam-se as tipologias das construções escolares, pois dependendo do período de construção, existem formas peculiares de reabilitação e requalificação.

O estudo das técnicas de reabilitação estrutural permite conhecer quais os procedimentos a seguir, quando se pretende reforçar uma estrutura, de modo a atingir os níveis de conforto definidos no PMEES pela Parque Escolar.

Por fim, pode afirmar-se que se considera positivo a elaboração de estudos que promovam a troca de conhecimentos entre a universidade e o mercado de trabalho, pois permite o autor adquirir um conjunto de valências extremamente importantes.

4. METODOLOGIA

Para se concretizarem os objectivos propostos efectuou-se um levantamento de técnicas de reforço em dois estabelecimentos de ensino, de tipologia MOP-JCETS, inauguradas no início da década de 1960, que se encontravam em diferentes fases do processo de renovação.

Elegeram-se como estudos de caso, a Escola Secundária de Rainha Santa Isabel em Estremoz como modelo de uma construção finalizada, em processo de entrega ao Dono de Obra, e a Escola Secundária Rainha Dona Leonor, no bairro de Alvalade (Lisboa), como exemplo de uma empreitada em curso – partes da escola encontravam-se finalizadas, em pleno uso, enquanto outras estavam ainda em fase de obra.

A obtenção de resultados para a dissertação foi alcançada através de inúmeras visitas às duas escolas, recolhendo-se imagens *in loco* e outros dados disponibilizados pelos intervenientes no processo de reabilitação, nomeadamente os projectistas de arquitectura, de estruturas e equipas de fiscalização. Efectuaram-se também pesquisas bibliográficas e consultas documentais.

5. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos autónomos, apresentando-se encadeados da seguinte forma:

- Primeiro capítulo – definição geral do âmbito do estudo desenvolvido;
- Segundo capítulo – breve descrição sobre a evolução da construção escolar em Portugal, definindo-se o estado global em que se encontravam as edificações escolares antes do actual programa de modernização; descrição do modelo de intervenção levado a cabo pela empresa Parque Escolar;

- Terceiro capítulo – casos de estudo: definição e descrição das intervenções ocorridas nas escolas analisadas;
- Quarto capítulo – descrição geral de técnicas de reforço estrutural e pormenorização de algumas utilizadas nos casos em estudo;
- Quinto capítulo – considerações sobre todo o estudo desenvolvido.

No final, encontra-se a referenciação de toda a documentação utilizada na execução deste texto, bem como alguma informação de relevo que, embora importante para a percepção do tema, não tem cabimento no corpo do trabalho, nomeadamente, os relatórios das visitas efectuadas às obras.

CAPITULO II – PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DAS ESCOLAS DESTINADAS AO ENSINO SECUNDÁRIO (PMEES)

1. ESTADO DAS CONSTRUÇÕES ANTES DA APLICAÇÃO DO PLANO DE MODERNIZAÇÃO ESCOLAR

A maioria dos recintos escolares da rede pública nacional do ensino secundário foi construída entre o início do século XX e a década 1980, tendo-se verificado o pico da construção nas décadas de 1970 e 1980, período de expansão da rede escolar e da escolaridade obrigatória (Heitor, 2008).

As escolas formam um conjunto muito heterogéneo em termos de tipos de construção, de características arquitectónicas e de qualidade. A generalidade das instalações sofre de anomalias construtivas, deterioração física e obsolescência funcional que afecta o seu conforto ambiental, uso e imagem. A degradação física resultou da deterioração natural dos edifícios, assim como da falta de programas de manutenção contínua (Heitor, 2008).

Como refere Vaz (2008): "dadas as actuais exigências de ensino-aprendizagem e a idade da maioria dos edifícios, o parque escolar existente em Portugal apresenta vários sinais de degradação física e de obsolescência funcional." No mesmo estudo concluiu-se que existem edifícios que "apresentam sintomas físicos de degradação e desgaste decorrentes (…) do uso diário intensivo, de actividades exigentes e da ausência de acções de manutenção", evidenciando, por exemplo, um "envelhecimento natural ao nível das camadas de revestimento." "Em termos funcionais, acusam problemas provocados pela alteração das condições de uso iniciais e pela evolução das exigências de ensino-aprendizagem." Denota-se uma insuficiência generalizada nas redes e instalações técnicas existentes numa escola, que vai desde o deficiente abastecimento de água, drenagem de águas residuais, electricidade e gás, até à desadequação da rede informática às exigências impostas pela sociedade contemporânea (Vaz, 2008).

De acordo com os programas funcionais, os modelos arquitectónicos e os processos de construção, a maioria das escolas foram agrupadas em três períodos distintos: até 1935, de 1935 até 1968, a partir de 1968. Salvaguarda-se ainda que existem "obras de autor", isto é, projectos singulares não normalizados (P.E., 2012).

1.1. Primeiro período de construção (até 1935)

Este conjunto é constituído por doze escolas, abrangendo os primeiros liceus planeados de raiz, a partir da reforma de Passos Manuel de 1836, bem como aqueles que foram construídos ou terminados no âmbito da intervenção da Junta Administrativa do Empréstimo para o Ensino Secundário (JAEES), criada em 1928 e extinta em 1934 (P.E., 2009).

Em Lisboa, são exemplos deste conjunto, os liceus Camões (1909), Passos Manuel (1911) e Pedro Nunes (1911), e no Porto, os liceus Alexandre Herculano (1927) e Rodrigues de Freitas (1933) – (P.E., 2009). Estes estabelecimentos foram influenciados pelo modelo conventual dos antigos colégios – edifícios únicos de configuração compacta com pátios encerrados – e pelo

modelo francês de *Lycée* – configuração em extensão ocupando, parcial ou totalmente, o perímetro do quarteirão urbano e definindo um ou mais pátios (Vaz, 2008).

Em termos construtivos, apresentam uma elevada robustez, progredindo de tecnologias construtivas tradicionais para sistemas construtivos mistos, de paredes autoportantes combinadas com estruturas porticadas, lajes de betão armado e coberturas em terraço. Foram incorporados, pontualmente, elementos inovadores à época – estruturas metálicas (aço em vigas e ferro fundido em colunas), e pavimentos em betão (P.E., 2009).

1.2. Segundo período de construção (de 1936 até 1968)

Este período é constituído por aproximadamente uma centena de estabelecimentos de ensino, destinadas ao ensino liceal e/ou técnico, construídas sob alçada do Ministério das Obras Públicas, através da Junta das Construções para o Ensino Técnico e Secundário (JCETS-MOP), entidade que substituiu a Junta Administrativa do Empréstimo para o Ensino Secundário (JAEES) em 1934 (P.E., 2009).

Entre 1938 e finais dos anos 60, realizaram-se dois planos de construção – Plano de 38 e o de 58. Construíram-se três dezenas de liceus, de base linear ou em pátio, definidos a partir da agregação de vários corpos com dois ou três pisos. Incidiam principalmente nas capitais de distrito, em zonas de elevada acessibilidade e implantados em lotes de grande dimensão, que em regra abrangiam a totalidade do perímetro do quarteirão urbano (P.E., 2009).

O plano de construção de escolas técnicas – para ensino industrial, comercial e agrícola – data do ano de 1947. Preconizava soluções económicas e adaptáveis às condições locais e morfologias dos lotes. Organizava o espaço em três corpos: escolar, desportivo e oficinal (P.E., 2009).

Em termos construtivos, tanto os liceus, como as escolas técnicas, utilizavam tecnologias de construção mistas, baseada em paredes resistentes de alvenaria ordinária de pedra rebocada, sobre as quais assentavam lajes de piso, e escadas de betão armado. Nalguns casos, as lajes de piso são constituídas por vigotas de betão pré-esforçado e abobadilhas cerâmicas, apresentando vigas perpendiculares às paredes exteriores. A estrutura da cobertura era de madeira, assim como o revestimento dos pavimentos das salas de aula. As caixilharias também eram em madeira com vidro simples. No piso e lambris dos corredores e escadas eram usados mosaicos hidráulicos (P.E., 2009).

O corpo das oficinas apresentava uma estrutura em betão armado, sendo frequente o sistema de cobertura inclinada em forma de *shed*, revestida com telha cerâmica ou com chapas onduladas de fibrocimento (P.E., 2009).

1.3. Terceiro período de construção (a partir de 1968)

Conjunto constituído por aproximadamente três centenas e meia de recintos escolares, sob a responsabilidade partilhada do Ministério da Educação, através da Direcção-Geral do Equipamento Escolar, e do Ministério das Obras Públicas, através da Direcção-Geral das Construções Escolares. A responsabilidade transfere-se exclusivamente para o Ministério da Educação, a partir de 1986, passando as competências executivas para as Direcções Regionais de Educação (P.E., 2009).

No final da década de 60, desenvolve-se um conjunto limitado de "projectos-tipo" destinados a liceu, escola-técnica e escola-preparatória. Apresentam soluções de grande pragmatismo, de modo a permitir rapidez e economia de execução (P.E., 2009).

Estes "projectos-tipo" estruturam-se a partir de um conjunto de blocos autónomos, pavilhões, permitindo a adaptação do edifício a terrenos de características topográficas, de exposição, de acessos e geológicas muito diversas e desconhecidas *a priori*. Os diferentes blocos são ligados por galerias exteriores cobertas (P.E., 2009).

Em termos construtivos, são edifícios modulares de estrutura porticada de betão armado, com lajes do mesmo material e paredes preenchidas por panos de alvenaria de tijolo, rebocadas e pintadas. As coberturas são planas, não visitáveis ou com cobertura inclinada e lanternim, revestidas a placas de fibrocimento. Os vãos apresentam caixilharias de madeira ou de alumínio com vidro simples (P.E., 2009).

2. Objectivos do Programa de Modernização das Escolas destinadas ao Ensino Secundário (PMEES)

O programa de modernização das escolas destinadas ao ensino secundário foi criado por iniciativa governamental em 2007 com três propósitos fundamentais, sendo o da requalificação e modernização dos edifícios escolares o que se apresenta como primordial. Pretendia repor a eficácia física e funcional dos edifícios, na perspectiva de criar condições para a prática de um ensino moderno, adaptado aos *curricula* e às novas tecnologias de informação e comunicação. Por outro lado, pretendia abrir a escola à comunidade, para que haja um aproveitamento integral das potencialidades instaladas nas infraestruturas. Por fim, ambicionava a criação um novo modelo de gestão das instalações, garantindo uma optimização de recursos instalados e uma correcta gestão da conservação e manutenção dos edifícios após as intervenções (P.E., 2012).

Para o efeito foi criada uma empresa pública – Parque Escolar, E.P.E. – através do Decreto-Lei n.º 41/2007, de 21 de Fevereiro (seu art.º 1.º, n.º 1), com o propósito de planear, gerir, desenvolver e executar o programa de modernização e manutenção da rede pública de escolas secundárias e outras afectas ao Ministério da Educação (*vide* seu art.º 4.º) – (D.R., 2007).

2.1. Requalificação das infraestruturas escolares

O plano previa, na maioria dos projectos, uma ampliação média da área de construção em cerca de 30%, o que possibilitaria o incremento das áreas destinadas ao ensino especial das ciências, das tecnologias e das artes, às bibliotecas, ao apoio socioeducativo e às zonas de trabalho para docentes (P.E., 2010).

Com o intuito de fomentar a criação de um espaço estimulante a toda a comunidade escolar, o PMEES dava particular atenção às condições de acessibilidade e de conforto ambiental dos edifícios a intervir. São disso exemplo a construção de rampas de acesso, a climatização e ventilação de espaços, a correcção de níveis de ruído ou a impermeabilização contra infiltração de humidades (P.E., 2010).

Assim estabelecia que a renovação do património existente deveria permitir:

- a correcção de problemas construtivos existentes;
- a melhoria das condições de habitabilidade e de conforto ambiental, com particular ênfase na higrotérmica, acústica, qualidade do ar, segurança e acessibilidade;
- a adequação dos espaços lectivos e não lectivos, modernizando os respectivos equipamentos;
- a garantia de flexibilidade e adaptabilidade dos espaços lectivos e não lectivos, de modo a maximizar a sua utilização e a minimizar investimentos no futuro;
- a garantia de eficácia energética de modo a reduzir os custos de operação (P.E., 2012).

2.2. Abertura da escola à comunidade

Juntamente com a recuperação do património escolar, o PMEES procurava a valorização urbana do meio onde a escola estaria inserida. Pretendia que nos períodos em que não houvesse actividades lectivas (horário pós-laboral, fim-de-semana, férias escolares), os espaços modernizados acolhessem eventos culturais e sociais, assim como actividades de carácter desportivo e de lazer (P.E., 2012).

Procurava-se também que o uso dos edifícios estivesse intrinsecamente ligado a actividades associadas à formação contínua, nomeadamente ao desenvolvimento do programa de formação de adultos, existindo áreas destinadas exclusivamente para esse fim (P.E., 2012).

2.3. Manutenção e gestão dos edifícios requalificados

De modo a salvaguardar a rentabilidade do investimento, cabe à Parque Escolar a condução das várias fases do processo de requalificação. Abrangendo desde a escolha das estratégias operacionais, à definição das prioridades de intervenção, até à organização das obras e, após estas, à conservação do património edificado.

A entidade pública empresarial tem de assegurar que a renovação seja concretizada através de processos eficazes, obedecendo a uma rigorosa programação, em virtude de consubstanciarem intervenções profundas que se desenvolvem, na maioria dos casos, com as escolas em funcionamento. Posteriormente tem que implementar um modelo de gestão das instalações escolares que responda eficazmente e com custos controlados às solicitações normais de conservação e manutenção, evitando a rápida degradação dos mesmos e, no limite, conduzam ao desvirtuar dos princípios orientadores do processo de modernização (D.R., 2007).

Sucintamente, a Parque Escolar tem de garantir:

- resposta eficaz e eficiente às intervenções pontuais de reparação ou às intervenções programadas de conservação e manutenção;
- fomentar a correcta utilização das instalações e dos equipamentos, formando, acompanhando e responsabilizando os utilizadores;
- garantir a plena utilização das instalações (P.E., 2012).

3. ESTRATÉGIA DE INTERVENÇÃO

Com a missão de definir um plano, uma estratégia, a Parque Escolar reuniu uma equipa de especialistas de renome nacional, composta por arquitectos, engenheiros, investigadores e professores, com o propósito de eleger meticulosamente novas soluções a implementar no programa de intervenção (P.E., 2009).

De modo a haver um distanciamento da ideia de um edifício-tipo para todos os locais, concebeu-se uma nova abordagem, assente num conhecimento *a priori* dos projectos educativos de cada estabelecimento de ensino. A escola passou a ser parte integrante do processo de reabilitação (P.E., 2009).

3.1. Planeamento

As fases do programa foram planeadas a partir da definição do ano de início das obras e dos recursos financeiros a mobilizar pela Parque Escolar, em função das tipologias das escolas. As Direcções Regionais de Educação tiveram a responsabilidade de selecção, com base no grau de desqualificação dos edifícios, na carência de instalações face à população escolar, no reordenamento da rede escolar e na optimização de financiamento comunitário (P.E., 2011).

Em paralelo com a contratação de projectistas, houve a necessidade da execução de levantamentos topográficos, fotográficos, arquitectónicos e estruturais, por falta de informação técnica (P.E., 2011).

3.2. Ferramentas de programação

Iniciaram-se os processos com a preparação do Plano Estratégico para cada escola – documento em forma de inquérito, de preenchimento *online*, em que as escolas caracterizaram

a situação existente e identificaram as suas necessidades em termos de recursos físicos (P.E., 2011).

A informação contida no Plano Estratégico foi utilizada para a construção do *briefing* da intervenção, servindo como referência, quer para a definição do Programa Funcional – quantificação de espaços e correspondentes articulações funcionais –, quer para apoio aos projectistas na formalização das estratégias projectuais (P.E., 2011).

Depois de discutido e validado pela escola, o Programa Funcional foi ratificado pela respectiva Direcção Regional de Educação e transmitido aos projectistas sob a forma de matriz de trabalho como documento fechado. Nalguns casos foram prestados esclarecimentos técnicos adicionais sobre áreas e características espaciais e construtivas reforçando a informação disponibilizada nos Manuais do Projecto (P.E., 2011).

Em complemento, foram desenvolvidos estudos de inspecção e diagnóstico ao estado de conservação e de segurança estrutural e habitabilidade com o apoio de consultores externos (P.E., 2011).

3.3. Projectos

O projecto de intervenção inicia-se com a definição de um Programa Base – documento explicativo da reorganização do espaço escolar (P.E., 2011).

Após analisado e validado esse programa, pela Parque Escolar e pela escola, é elaborado um Estudo Prévio de Arquitectura e demais especialidades. Seguidamente surge o Projecto de Execução e é lançado o concurso da empreitada (P.E., 2011).

A última etapa consiste na assinatura do Acordo de Parceria de Utilização e Gestão entre as direcções das escolas, a respectiva Direcção Regional de Educação e a Parque Escolar. São fixadas as obrigações e deveres das partes, no processo de desenvolvimento do projecto, na obra e na fase de operação (P.E., 2011).

3.4. Empreitadas e fiscalização de obras

Uma das exigências de maior complexidade consiste na conciliação do funcionamento de uma escola com a obra em curso (P.E., 2011).

Promoveu-se a separação da obra através da instalação de vedações rígidas e opacas, sendo criados percursos e acessos distintos bem sinalizados. Houve ainda a tentativa de compatibilizar as fases mais invasivas da obra, com os períodos escolares de pouco ou nenhum uso (P.E., 2011).

Foi ajustado com as direcções escolares o número de salas provisórias – monoblocos com climatização –, a instalar em cada fase da obra, sendo em alguns casos necessário o aluguer de instalações para funcionamento de oficinas e/ou desporto (P.E., 2011).

Implementou-se uma “comissão de segurança”, com a presença de representantes da obra (Parque Escolar, fiscalização e empreiteiro), da escola e da associação de pais, com o intuito de efectuar um balanço dos trabalhos finalizados e informar sobre as etapas a executar (P.E., 2011).

4. MODELO ORGANIZACIONAL DO EDIFÍCIO ESCOLAR

Com a modernização das infraestruturas, procurava-se actualizar a forma de organização do espaço escolar, tornando-o mais funcional e organizado, mas sobretudo mais adequado às novas tendência do ensino e da oferta educativa. Os diferentes sectores funcionais de um edifício escolar deveriam ser planeados de uma forma global, de modo a complementarem-se, não prejudicando as actividades nos espaços circundantes, e permitindo novos usos além do funcionamento lectivo (P.E., 2009).

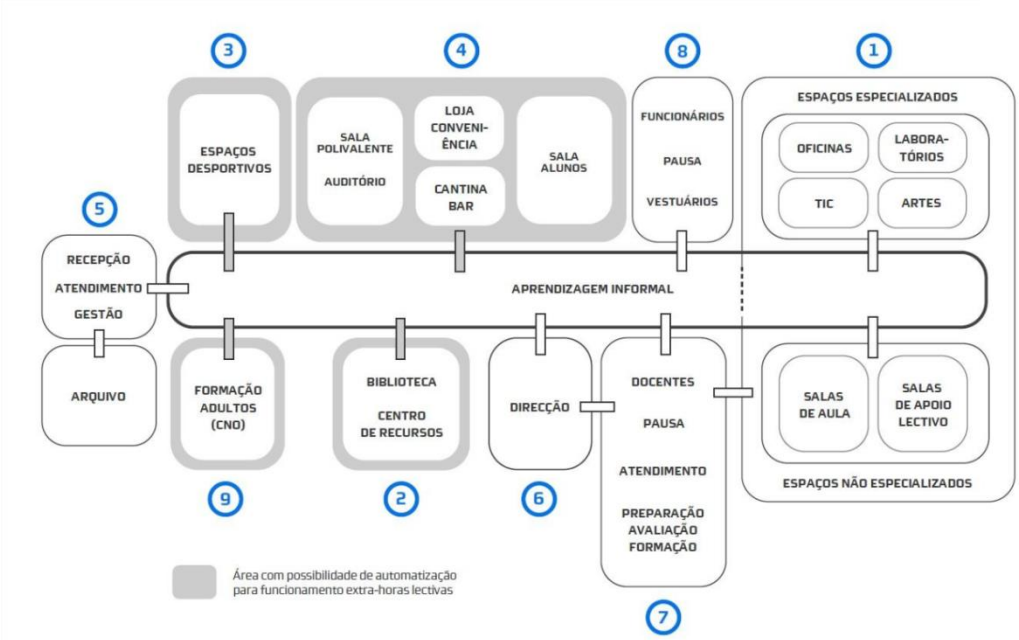


Figura 1 – Modelo organizacional da construção escolar (P.E., 2009)

De acordo com a Figura 1, consideram-se os seguintes sectores funcionais:

(1) Núcleo de aprendizagem formal – composto por salas de aula, espaço de ensino experimental das ciências (laboratórios e salas de preparação), das tecnologias (oficinas, salas TIC - Tecnologias de informação e comunicação) e das artes;

(2) Núcleo de biblioteca/centro de recursos – CREM (Centro de Recursos Educativos Multimédia);

(3) Núcleo de espaços desportivos – ginásio, pavilhão polidesportivo, campo de jogos coberto, campo de jogos descoberto, balneários;

(4) Núcleo de espaços sociais e de convívio – espaço estudante, sala polivalente/auditório, loja de conveniência, bar, cantina, cozinhas;

(5) Núcleo de recepção, gestão/administração e atendimento geral – secretaria, arquivo, portaria, núcleo museológico;

(6) Núcleo de direcção – gabinetes de trabalho, salas de reunião articulados com os gabinetes de trabalho, áreas de recepção e atendimento;

(7) Núcleo de docentes – espaços de pausa (sala de professores), gabinetes de trabalho, salas de reunião/formação de docentes, áreas para atendimento de pais e encarregados de educação, instalações sanitárias;

(8) Núcleo de funcionários – sala de pausa com copa, área de vestuário; instalação sanitária;

(9) Núcleo de formação de adultos e certificação de competências (Centro de Novas Oportunidades) – gabinetes de trabalho, salas de reunião articulados com os gabinetes de trabalho, áreas de recepção e atendimento.

Como demonstrado na zona central da Figura 1, existe a pretensão de tornar a escola num espaço difusor de aprendizagem – "*Learning Street*". Este conceito de aprendizagem informal pode conseguir-se desde a elaboração de trabalhos, criação de clubes, até à construção de espaços de estudo ou de acervo museológico (P.E., 2009).

Na Escola Secundária Dona Leonor em Lisboa, por exemplo, reaproveitou-se o equipamento antigo dos laboratórios, nomeadamente, as bancadas e bancos, para criar um espaço de estudo para os alunos em zonas comuns, no caminho destes para as salas de aulas, como demonstra a Figura 2.

Figura 2 – *Learning Street* (tirada em 23-02-2011) – (fotografia do autor, 2010-11)

5. ESCOLAS INDUSTRIAIS E COMERCIAIS

O conceito de escolas industriais e comerciais surge como resposta do sistema de ensino às necessidades de crescimento económico e da industrialização do país. O ensino técnico e profissional foi, a partir da década de 30 do século XX, da responsabilidade da Junta das Construções para o Ensino Técnico e Secundário (JCETS), organismo sob a alçada do Ministério das Obras Públicas (MOP).

Pela comparação entre a rede de estabelecimentos liceais e a rede de escolas técnicas, é notória a diferença na distribuição geográfica e no número de escolas construídas. A rede de escolas industriais e comerciais criada é significativamente maior e dispersa por todo o território nacional, reservando-se os liceus principalmente para as capitais de distrito. Este facto traduz a diferenciação que era dada ao acesso a estes dois tipos de ensino (Vaz, 2008).

Os edifícios escolares construídos pela JCETS apresentam entre si várias semelhanças. Tal acontece não só por corresponderem, na sua maioria, à mesma equipa de projectistas e aos mesmos processos construtivos, mas também por se terem baseado em programas-tipo e projectos-tipo. Esta normalização dos projectos permitia um desenvolvimento mais rápido dos processos de concepção e construção e facilitava as intervenções em vários pontos do país ao mesmo tempo. Com a adopção de normas para a elaboração dos projectos, a JCETS instituiu medidas de controlo de todo o processo construtivo dos liceus e escolas técnicas, o que permitiu garantir a concretização de objectivos de natureza política, económica e técnica (Vaz, 2008).

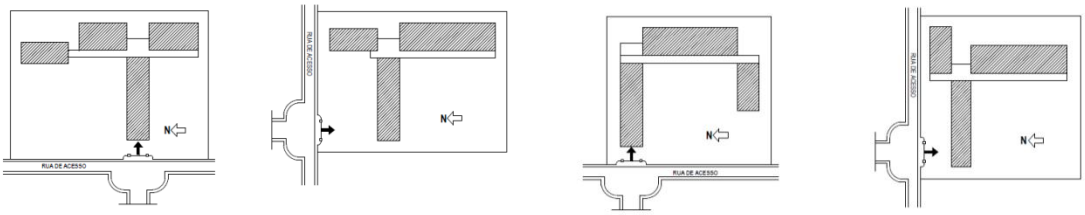


Figura 3 – Ante-projecto tipo para escolas profissionais (Vaz, 2008)

Os ante-projectos tipo, como evidenciado na Figura 3, preconizavam soluções construtivas simples e económicas, organizando os estabelecimentos de ensino em três corpos: principal, de educação física e oficinas. Isto permitia, de acordo com as intenções dos arquitectos e com as condicionantes do local, articular os projectos de modo a ter uma solução universal e adaptável consoante a orientação e a topografia do terreno, bem como a disposição do lote em relação à via de acesso (Vaz, 2008).

No ano de 1960, a JCETS desenvolve o *1.º Projecto Normalizado*, coordenado pelo Arquitecto Augusto Brandão, destinado a escolas industriais e comerciais (Proença, *et al*., 2011).

O **corpo principal** era, normalmente, um edifício de três pisos com um corredor central (Figura 4), destinado às salas de aulas teóricas e aos serviços administrativos, com uma orientação que permitisse que as salas de aula ficassem sempre expostas ao quadrante Sul (Vaz, 2008).

O **corpo de educação física** era constituído por um ginásio (Figura 5), que também poderia servir de salão de festas aberto à comunidade, e daí a necessidade de possuir um palco e um acesso directo a partir do exterior da escola. Havia ainda um pequeno ginásio adicional, balneários, vestiários de ginástica e o refeitório escolar.

Figura 4 – Corpo principal (tirada em 25-07-2008) – (Laranjeira, 2008-2010)

Figura 5 – Corpo de educação física com escada de acesso directo ao exterior (tirada em 25-07-2008) adaptada de (Laranjeira, 2008-2010)

No **corpo de oficinas**, que devia ser mais vasto nas escolas industriais, o número de espaços oficinais estava directamente relacionado com os cursos ministrados em cada escola. As oficinas deveriam ser, segundo o programa, instalações de um só piso, com iluminação superior (através de coberturas em *shed* – Figura 6), e cada espaço deveria dispor de um anexo (Vaz, 2008).

Figura 6 – Pormenor de *shed* (tirada em 25-07-2008), adaptada de (Abrantes, 2008)

O programa-tipo preconizava ainda outros serviços, tais como vestiários, museu, biblioteca, instalações de professores, instalações sanitárias ou médico escolar. O conjunto de refeitório, cantina e sala da mocidade portuguesa devia ser afastado da zona de aulas e, se possível, com entrada privativa. A sala de canto coral ficava também afastada das aulas normais (Vaz, 2008).

Resumidamente e de acordo com o esquema da Figura 7, as escolas técnicas eram compostas pelos seguintes agrupamentos:

- grupo de serviços administrativos: secretaria, direcção, instalações sanitárias;
- grupo de serviços escolares: aulas normais, aulas de ciências geográfico-naturais, salas de laboratórios, anfiteatros, salas de desenho, salas de contabilidade, comércio e dactilografia, depósitos de material, oficinas, trabalhos femininos, recreios cobertos, recreios ao ar livre, instalações sanitárias dos alunos;
- grupo de serviços especiais: vestiários, museu, biblioteca, instalações dos professores, médico escolar, sala de estar das raparigas, instalações para o pessoal menor;
- grupo de serviços de educação física: ginásio, vestiários de ginástica, balneário, canto coral, refeitório, instalações da mocidade portuguesa;
- grupo de serviços de comunicações: corredores, escadas, átrio de entrada;
- diversos: arrecadações gerais, instalação eléctrica, sinalização e telefones (Vaz, 2008).

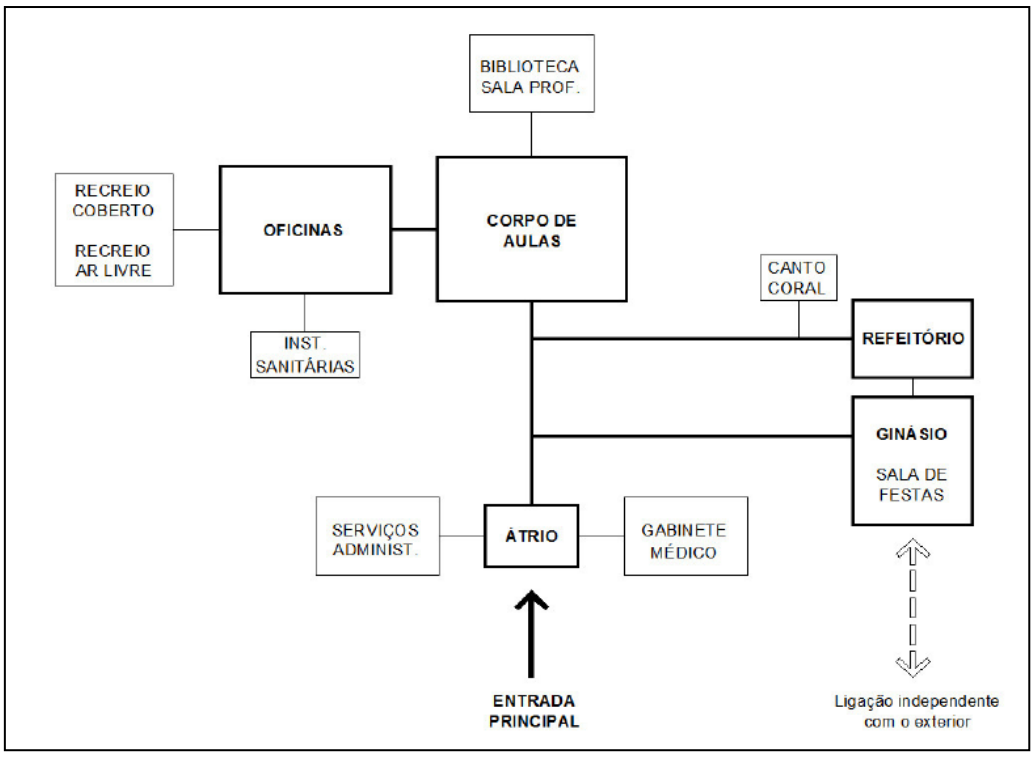


Figura 7 – Modelo de organizacional das escolas técnicas (Vaz, 2008)

1. Escola Secundária Rainha Dona Leonor – São João de Brito, Lisboa

1.1. Enquadramento

O Liceu Rainha Dona Leonor foi criado no ano de 1947, nas instalações do Palácio Ribeira (Figura 8), na Rua da Junqueira, como estabelecimento de frequência exclusivamente feminina (ESRDLeonor, 2010).

Figura 8 – Alçado Sul do Palácio Ribeira, adaptado de (Cêra, 2010)

Figura 9 – Plano de urbanização da zona a Sul da Avenida Alferes Malheiro (Avenida do Brasil) (Costa, 1945)

Com a construção do Bairro de Alvalade (Figura 9), no final da década de 1940 e o incremento de população, efectua-se, no ano de 1961, a transferência do Liceu Rainha Dona Leonor do Palácio Ribeira para a localização actual, mantendo-se como estabelecimento de ensino feminino (ESRDLeonor, 2010).

Na génese do edifício escolar estão presentes a arquitectura e desenho industriais, que pretendiam passar a ideia de produção e de funcionalidade. Inicialmente, a escola tinha a forma de dois rectângulos organizados em L, adquirindo em 1967, um formato em U, pelo alargamento da construção a Este, adicionando-se um bloco de salas de aula. Foi ainda ampliado o edifício do ginásio (ESRDLeonor, 2010).

Após o 25 de Abril de 1974, a população escolar passou a ser mista, tendo o termo liceu dado origem à designação de escola secundária (ESRDLeonor, 2010).

Na Escola Secundária Rainha Dona Leonor é actualmente leccionado o ensino regular (3.º ciclo e secundário) e profissional – ao nível do ensino básico: Cursos de Educação e Formação (CEF) de Técnico de instalação e operação de sistemas informáticos. Ao nível secundário, existe o curso de Técnico de gestão e programação de sistemas informáticos e módulos capitalizáveis em regime nocturno (ESRDLeonor, 2012).

1.2. A empreitada

1.2.1. Situação pré-intervenção

O conjunto edificado era composto por um corpo principal (Figura 10), de três pisos, ocupado principalmente por salas de aula, com dois recreios cobertos, nas extremidades, ao nível do piso térreo. A Poente, o corpo de educação física albergava o refeitório, no piso térreo, e os ginásios (grande e pequeno), no piso superior. Os edifícios encontravam-se fisicamente ligados por um recreio coberto na extensão do corpo principal e por uma pérgola adossada à fachada do corpo do ginásio. Na zona Nascente do lote, foi continuado, *a posteriori*, um edifício perpendicular ao principal, também com 3 pisos, para albergar um novo bloco de salas de aula (Bastos, 2008).

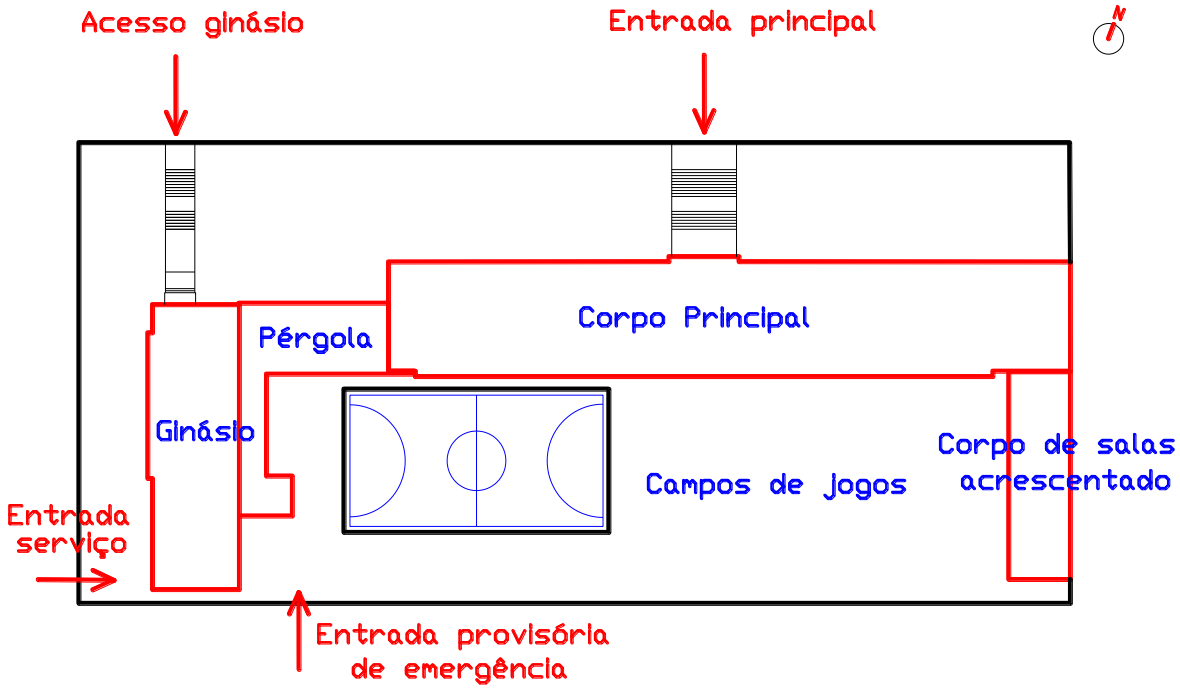


Figura 10 – Planta do lote antes da intervenção

A inexistência de um plano orientador, conjugado com o aumento do número de alunos, a fraca manutenção e a introdução pouco criteriosa de equipamentos desportivos e para pessoas de fraca mobilidade, resultou num conjunto edificado com estruturas de carácter provisório e sobrelotado de equipamentos, ocupando as áreas livres de lazer (Bastos, 2008).

Nos pontos seguintes, destacam-se várias zonas que apresentavam forte deterioração da sua qualidade ambiental, física, arquitectónica e construtiva:

- a entrada secundária e as escadas e taludes de acesso ao bloco do ginásio, a Norte – falta de uso e manutenção (Figura 11);
- o conjunto do recreio coberto Poente e pérgola que albergava o bar e a área adjacente de recreio – excesso de apropriação descontrolada e construção (Figura 12);

- a entrada de serviço a Poente, o túnel de acesso e o topo Sul do bloco do ginásio – elevado estado de degradação (Figura 13);
- a entrada provisória de aprovisionamentos e emergência, criada no talude Sul do recreio – mau dimensionamento e inadequação ao uso proposto (Figura 14) – (Bastos, 2008).

Figura 11 – Antigo acesso ao ginásio (Google, 2009)

Figura 12 – Pérgola que alberga o bar (Bastos, 2008)

Figura 13 – Corpo de educação física (Google, 2009)

Figura 14 – Fachada Sul com entrada provisória de emergência (Google, 2009)

Em termos estruturais, o conjunto edificado existente apresentava:

Corpo principal (Bloco 4)

Com um piso térreo, dois pisos elevados e cobertura, apresenta uma estrutura em betão armado, composta por pilares e vigas, que suporta lajes aligeiradas, com blocos cerâmicos, nos maiores vãos, e lajes maciças no corredor central (Figura 15) e (Figura 16) – (Flor, *et al.*, 2009)

Macroscopicamente, a estrutura era composta por 4 alinhamentos principais longitudinais, correspondentes às paredes de fachada e do corredor central, e pórticos transversais nas extremidades de cada corpo, compostos por pilares, vigas e tirantes/escoras diagonais que ligam o nó superior do pilar/viga do corredor com o nó inferior da fachada pilar/fundação ou pilar/viga (Flor, et al., 2009).

O pavimento do piso 0 era constituído por laje aligeirada com blocos cerâmicos. As paredes de fachada seriam em alvenaria rebocada, assim como as paredes de enchimento. A cobertura

apresentava-se inclinada, com um sistema estrutural de vigotas de betão e abobadilhas cerâmicas, apoiadas em vigas de betão armado (Flor, et al., 2009).

O edifício possuía diversas juntas de dilatação do projecto original, outras que foram sendo criadas pelas sucessivas ampliações. As juntas foram realizadas com a duplicação de pilares e vigas (Flor, *et al*., 2009).

As fundações eram directas, feitas por meio de sapatas, com secção trapezoidal, armadas apenas na face inferior (Flor, *et al*., 2009).

Figura 15 – Construção da 1.ª fase do Liceu Dona Leonor, em 1960-61 (Arquivo Fotográfico da Secretaria-Geral do Ministério da Educação)

Figura 16 – Conclusão da 1.ª fase de construção do Liceu Dona Leonor, em 1961 (Arquivo Fotográfico da Secretaria-Geral do Ministério da Educação)

Corpo de salas acrescentado a Nascente (Bloco 5)

Este edifício apresentava uma estrutura idêntica ao anterior.

Pode descrever-se de forma macroscópica a estrutura como sendo composta por 3 alinhamentos principais longitudinais, correspondentes às paredes de fachada e do corredor lateral, e pórticos transversais afastados de 4,37m. Nas extremidades de cada corpo existiam pórticos com vigas expressivas (Flor, *et al*., 2009).

As fundações também eram directas idênticas às do corpo anterior.

Corpo de ginásio (Bloco 3)

Este edifício, composto por dois corpos, alberga os ginásios, os seus balneários e ainda a cantina e a sua cozinha (Flor, *et a*l., 2009).

A estrutura era de betão armado, com pórticos transversais, em que os pilares e vigas acima da cota do ginásio possuíam secções variáveis (Flor, et al., 2009).

As lajes de piso eram aligeiradas com blocos cerâmicos e nervuras e lâmina betonadas *in situ*. A laje de cobertura também era aligeirada, composta por vigotas e blocos cerâmicos, com lâmina de compressão (Flor, et al., 2009).

As fundações eram directas idênticas às do corpo anterior.

1.2.2. Intervenção

1.2.2.1. Características da obra

O projecto de arquitectura foi da responsabilidade do "Atelier dos Remédios – Arquitectura e Renovação Urbana, Lda.", sob coordenação do Arq. Francisco Teixeira Bastos e da Arq.ª Madalena Menezes.

O projecto de execução esteve a cargo de "Alves Rodrigues & Associado, Lda.".

A escola ficou dotada de capacidade para 50 turmas, 1.185 alunos, com um investimento de €9.811.225,78 (nove milhões, oitocentos e onze mil, duzentos e vinte e cinco euros e setenta e oito cêntimos), não chegando a empreitada a durar 20 meses (desde 08-06-2009 até 30-01-2011). O lote tem uma dimensão de 13.108m^2, sendo reabilitada uma área de construção de 10.806m^2. A construção nova ocupa uma área de 3.895m^2.

A obra foi adjudicada às empresas de construção "Construtora Abrantina, S.A.", "Lena – Engenharia e Construções, S.A." e "Manuel Rodrigues Gouveia, S.A.".

A fiscalização foi executada pela empresa "Tecnoplano – Tecnologia e Planeamento, S.A.".

1.2.2.2. Resumo da intervenção

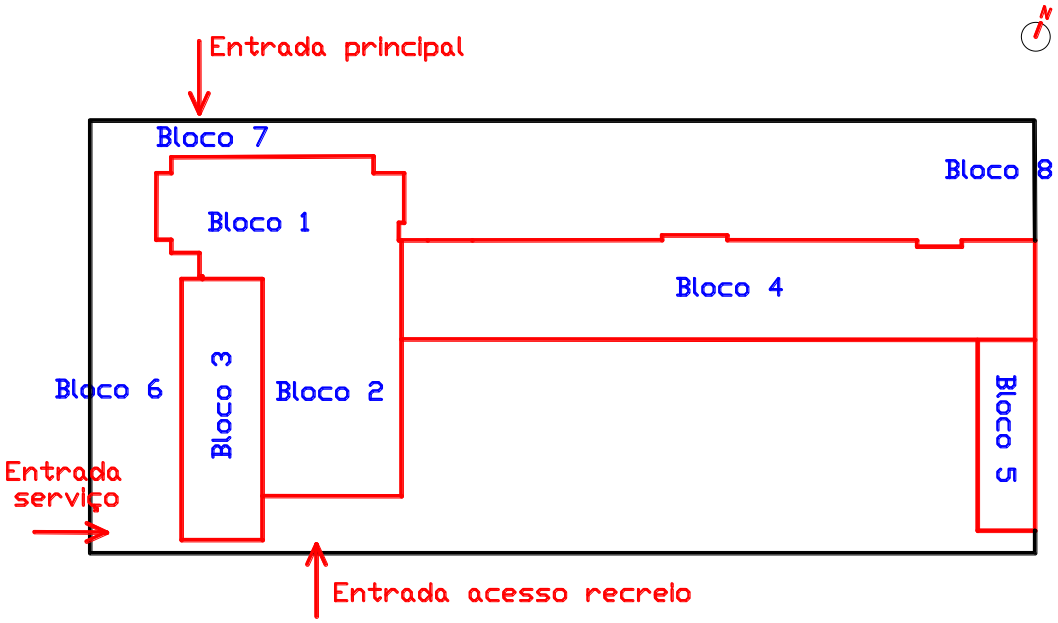


Figura 17 – Planta de localização

O projecto da empreitada em estudo teve por base três princípios orientadores, nomeadamente:

- recurso à construção nova (Blocos 1, 2) – a escola não dispunha de área suficiente para albergar o acréscimo de espaços programaticamente necessários;

- reequacionamento da organização funcional das actuais instalações (Blocos 3, 4 e 5) – provocada pela libertação de alguns espaços;
- reequacionamento das áreas exteriores – na vertente Norte, provocado pela mudança da localização da entrada principal e implantação do novo edifício da portaria (Bloco 7). A Sul, em consequência da libertação da área de recreio, com a construção do campo de jogos coberto (Bloco 2). A Poente, com a criação da casa dos lixos (Bloco 6) – (Bastos, 2008).

De forma a poderem construir-se os novos edifício (Blocos 1 e 2) – constituído por equipamentos de acesso público (biblioteca, sala polivalente e campo de jogos coberto e descoberto) – (Figura 18) –, prolongou-se a cota da rua para o interior do recinto da escola, por via do desmonte do talude e escavação parcial da área do recreio (Bastos, 2008).

Do **Bloco 1**, com um máximo de quatro pisos, fazem parte a biblioteca, com possibilidade de acesso autónomo por escada exterior, e as áreas afectas aos docentes. A sua construção, apoiada em pilotis e "descolada" do chão, permitiu a criação de uma área de entrada ampla e protegida. No centro da estrutura foi introduzido um volume vazio, possibilitando a entrada de luz natural para a praça coberta e para a biblioteca. As fachadas são em painéis de betão à vista pré-fabricados. Possui duas coberturas a níveis distintos, sendo uma delas destinada a albergar os equipamentos de AVAC (Bastos, 2008).

O **Bloco 2** contém, em continuidade térrea com o átrio, a sala polivalente, com cerca de 172m^2 de área e uma altura de 6,60m, tendo uma capacidade para 168 lugares sentados, em bancada telescópica. Contíguo a esta, situa-se o campo de jogos coberto, sobre o qual está instalado o campo de jogos descoberto (Bastos, 2008).

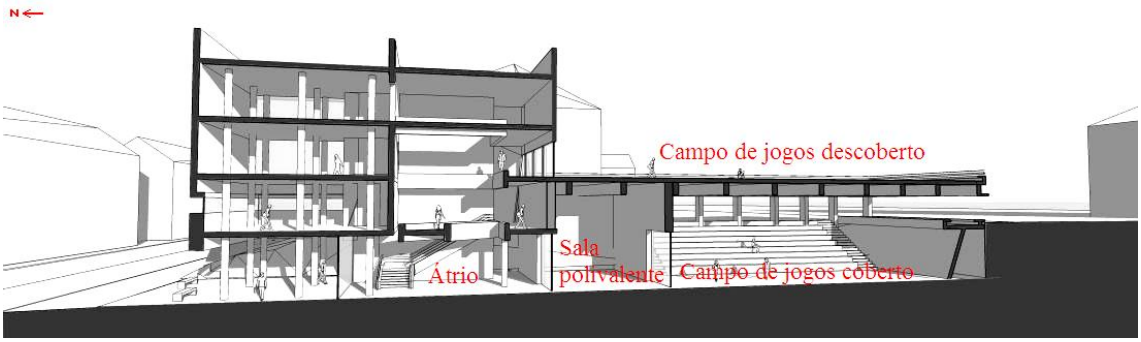


Figura 18 – Corte transversal N/S dos Blocos 1 e 2, adaptado de (Bastos, 2008)

No **Bloco 3**, a Poente, localizam-se os ginásios no piso superior. Ao nível do piso térreo encontram-se os balneários e o refeitório, com capacidade para 128 lugares sentados, bem como a respectiva cozinha. Existe ainda uma escada interior de acesso directo ao campo de jogos coberto (piso enterrado) – (Bastos, 2008).

No **Bloco 4**, mantiveram-se as salas de aulas e os laboratórios (ala Nascente) nos pisos superiores, sendo o piso térreo totalmente reformulado para albergar os órgãos de gestão,

secretaria, nova área de ensino das Tecnologias de informação e comunicação (TIC), loja de conveniência/reprografia e sala de alunos/bar (Bastos, 2008).

A Nascente, no **Bloco 5**, implantaram-se as salas de ensino das artes – com abertura de poços de iluminação zenital –, salas de tecnologias e duas unidades de laboratórios. Foi introduzida uma escada metálica de emergência. No piso térreo, instalou-se o arquivo, armazéns e área de pessoal não docente (Bastos, 2008).

Este equipamento escolar é complementado por três construções periféricas.

O **Bloco 6** ou casa de tratamento dos lixos exterior, com fachadas em painéis de betão pré-fabricados, serve a cozinha, situada no Bloco 3, podendo ser acessível através do exterior pela entrada de serviço (Bastos, 2008).

A portaria de entrada – **Bloco 7** – contígua à vedação periférica do lote, permite o controlo de acessos ao átrio do Bloco 1 (Bastos, 2008).

O **Bloco 8** é uma estrutura existente que alberga o posto de transformação, implantada no quadrante NE do lote (Bastos, 2008).

Salienta-se ainda a existência de um **anel de circulação** no interior da escola, formando uma ampla rede de circulação, constituída por corredores centrais, galerias em torno dos campos de jogos e escadas entre os pisos (Bastos, 2008).

O acesso e o estacionamento de veículos no interior do lote encontram-se condicionados (Bastos, 2008).

1.2.2.3. Condicionamentos

O presente processo de modernização apresentou dificuldades devido principalmente à reduzida área disponível (Figura 19), tanto a nível da implantação das soluções projectadas, como na execução das mesmas, durante a fase de obra (Bastos, 2008).

Figura 19 – Vista geral do lote, adaptado de (Bastos, 2008)

Figura 20 – Armazenamento de varões (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Para se obter um maior aproveitamento da área existente, preconizou-se a construção do campo de jogos descoberto sobre o coberto, da biblioteca sobre a praça de entrada e escavou-se o talude existente, aproximadamente 4,00m, até à cota da rua, de modo a implantar-se os Blocos 1 e 2. Tal facto obrigou ao recurso a uma solução de paredes de Berlim ancoradas, que impedisse a descompressão do solo de fundações, e ao reforço com microestacas das sapatas dos edifícios adjacentes (Flor, et al., 2009)

No respeitante à fase de obra, como se pode verificar na Figura 20, houve alguns condicionamentos de espaço na montagem do estaleiro e armazenamento de materiais, surgindo também dificuldades nos acessos ao interior do lote.

Em termos geotécnicos, o solo admite fundações directas de estruturas, com tensão de contacto da ordem dos 500KPa, acessível aos 3,00m de profundidade. Aterros até cerca de 1,00m foram rejeitados como leito de fundação de estruturas (Flor, et al., 2009).

1.2.2.4. Faseamento da obra

Na calendarização da empreitada teve-se em consideração que, em simultâneo com a execução dos trabalhos, decorriam as actividades lectivas. De forma a minimizar os efeitos negativos, procurou separar-se a obra dos utentes da escola. Teve, ainda, de se garantir o funcionamento das infraestruturas eléctricas, abastecimento de água e esgotos (Bastos, 2008).

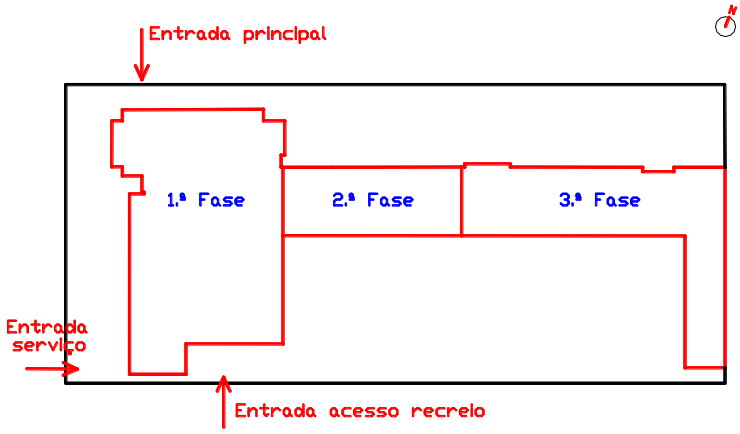


Figura 21 – Faseamento da obra

Figura 22 – Sistema AVAC (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Como se pode visualizar na Figura 21, a empreitada decorreu de Poente para Nascente, iniciando-se com a escavação do talude para implantação dos Blocos 1 e 2.

Na Figura 22 visualizam-se os equipamentos de AVAC que, tal como algumas portas, foram instalados enquanto decorriam trabalhos de demolição e reforço estrutural, para cumprimento dos prazos agendados.

1.2.2.5. Solução estrutural

Em termos de fundações foi considerado o uso de sapatas com 400KPa para os novos edifícios, e a solução de microestacas com um comprimento de aproximadamente 8,00m para as situações de reforço. Este comprimento está interligado com a capacidade de mobilizar os 500kN por estaca, necessários para resolver os novos esforços sísmicos (Flor, et al., 2009).

Blocos 1 e 2 (biblioteca, sala polivalente e campos de jogos)

O Bloco 1 é composto por uma solução de pilares redondos de betão armado, com uma métrica bem definida, que sustentam as lajes fungiformes aligeiradas (Flor, et al., 2009).

A solução para a sala polivalente e campo de jogos coberto (Figura 23) é constituída por pórticos em betão armado, com uma métrica regular de pilares rectangulares de 0,40x0,90m^2, que sustentam uma viga pós-esforçada que vence um vão de 22,00m e que recebe a laje de cobertura do campo de jogos exterior (Flor, et al., 2009).

A laje do pavimento térreo, composta por 0,15m de espessura de massame armado com malha electrossoldada CQ38, está assente sobre duas camadas de 0,15m de brita (Flor, et al., 2009).

O auditório possui uma laje ao nível de acesso superior da bancada retráctil que funciona como viga no plano e que trava a cabeça do muro de suporte de terras (Flor, et al., 2009).

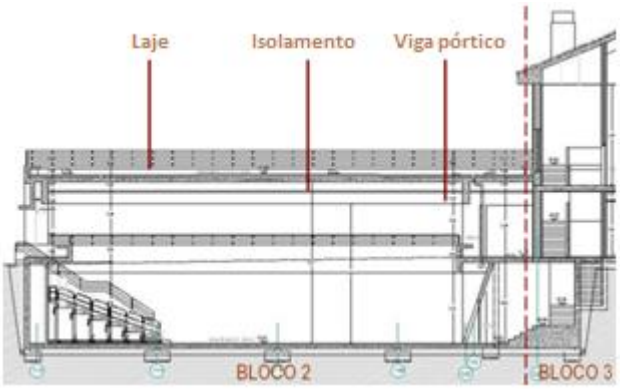


Figura 23 – Corte transversal pelo Bloco 2 e Bloco 3, adaptado de (Bastos, 2008)

Bloco 3 (ginásio existente)

O edifício possui uma estrutura em betão armado e pórticos com maior rigidez nos topos. É composto por dois corpos, separados por uma junta de dilatação, tendo sido o da cantina e ginásio pequeno, a Sul, edificado posteriormente (Flor, et al., 2009).

A intervenção focou-se ao nível do reforço sísmico do existente, através da introdução de pórticos metálicos e microestacas nas fundações, assunto que será exposto mais adiante no texto.

De notar que, a escavação da escada interior de acesso ao campo de jogos coberto (Figura 24) foi um processo complexo, não sendo possível o recurso a maquinaria pesada. Tratou-se de uma escavação confinada no espaço, pois ocorreu no interior do edifício e sob a viga de fundação periférica existente. A sua execução cumpriu a seguinte sequência:

- execução de microestacas, ligando-se, no mínimo 0,60m, às sapatas existentes através do reforço de varão helicoidal soldado ao tubo e ao preenchimento com argamassa não retráctil do furo interessado;
- abertura da escavação por troços e entivação;
- execução das vigas horizontais do bordo superior da parede de suporte de terras;
- execução da parede de suporte de terras por troços. Garante-se a ligação às vigas de bordo superior e às sapatas existentes, através da sua demolição parcial e do uso das suas armaduras. Deverão ainda ser deixadas armaduras de espera para as lajes de escada;
- execução da fundação, sua interligação e do massame de pavimento (Flor, et al., 2009).

Blocos 4 e 5 (edifícios de salas de aula existentes)

A estrutura dos blocos em análise não sofreu grandes alterações estruturais. O projecto inicial já preconizava o dimensionamento à acção sísmica, como se pode ver no exemplo da Figura 25, mas revelou-se insuficiente face aos regulamentos actuais. Nesse sentido foi feita uma modelação da estrutura e introduzidos reforços – paredes de betão armado –, em ambas as direcções. Este assunto será pormenorizado mais adiante (Flor, et al., 2009).

Figura 24 – Escada escavada à mão (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Figura 25 – Diagonal de reforço sísmico (tirada em 25-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Bloco 6 (casa dos lixos)

Estrutura nova em betão armado constituída por pilares, vigas e laje de betão armado, revestida com painéis de betão armado pré-fabricados. A pala de cobertura exterior do lado do ginásio assenta em pilares metálicos com chapas capitéis de apoio (Flor, et al., 2009).

Bloco 7 (portaria)

Estrutura em tudo idêntica à anterior. Face a uma certa assimetria da estrutura de betão armado e, tendo em vista o controlo das suas deformadas, recorreu-se à introdução de elementos metálicos em perfis RHS (*Rectangular Hollow Section*), de secção fechada. A pala de cobertura da zona de passagem dos alunos está apoiada em perfis metálicos (Flor, et al., 2009).

1.2.2.6. Soluções de melhoramento acústico e térmico

Foram preconizadas soluções de reforço do isolamento sonoro e térmico nos edifícios existentes, designadamente:

- Paredes exteriores: sistema *External Thermal Insulation Composite Systems* (ETICS);
- Pavimentos de área de circulação, biblioteca e professores: vinílico heterogéneo acústico, com 0,67cm de espessura, em cor amarela, do tipo *"Sarlon traffic compact-FORBO PERGOL"*;
- Tectos falsos: placas de gesso cartonado perfurado, do tipo *"Pladur Fon-PLADUR"*, com isolamento superior em lã de rocha;
- Sala polivalente: paredes e tecto em placas acústicas de madeira do tipo *"LAMBRI"*;
- Refeitório: placas de gesso hidrófugo, com aplicação de manta anti-vapor;
- Ginásios e campo de jogos coberto: tectos revestidos na face interior com painéis de lã de madeira do tipo *"CELENIT"*;
- Vão de fachadas expostas ao sol: vidro laminado duplo com caixa-de-ar, com aplicação de película termo reflectora pelo interior do tipo *"Llumar-SOTERMICA"*;
- Vão de fachadas encobertas do sol: vidro laminado simples.

1.3. Técnicas de reabilitação/reforço estrutural utilizadas na Escola Secundária Rainha Dona Leonor

1.3.1. Paredes resistentes em betão armado fundadas em microestacas para reforço sísmico

O edifício principal e o bloco de salas Nascente, como se pode ver na Figura 26, são estruturalmente divididos em 7 módulos – 1 a 5 e 6 a 7, respectivamente. Os módulos encontravam-se separados por intermédio de juntas de dilatação, com duplicação de elementos estruturais (Proença, et al., 2011).

Figura 26 – Módulos do edifício principal e bloco de salas Nascente, adaptado de (Proença, et al., 2011)

A construção das novas paredes de reforço, visualizadas na Figura 27, obrigou à demolição de elementos de alvenaria e betão armado existentes. Reaproveitaram-se as armaduras antigas e adicionaram-se varões de transferência de esforços no plano das lajes (Flor, et al., 2009). Introduziram-se quatro novas paredes de betão armado por módulo estrutural, com dimensões em planta que variam entre os 0,20x2,20m; 0,20x3,00m; 0,20x2,40m (longitudinais) e 0,43x1,60m; 0,43x2,50m; 0,43x3,00m (transversais) – (Figura 26) – (Proença, et al., 2011).

Figura 27 – Parede de betão armado (tirada em 25-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

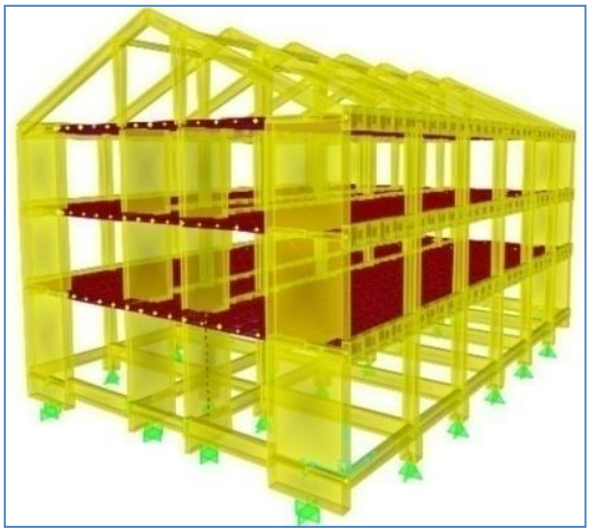


Figura 28 – Modelo estrutural (Perestrelo, 2010)

De modo a avaliar o comportamento da estrutura à acção sísmica, definiu-se um modelo da estrutura inicial (Figura 28), adicionando-se paredes de betão armado em ambas as direcções. Este modelo permitiu compreender os novos esforços e definir as dimensões das paredes de reforço (Flor, et al., 2009).

Analisando o comportamento do modelo, concluiu-se que a força sísmica provocava um deslocamento horizontal excessivo face à dimensão das juntas de dilatação. Preconizou-se uma solução que, por um lado, controla esse deslocamento (acção do sismo), por outro, permite pequenos movimentos devido a variações térmicas. Criaram-se então as seguintes ligações:

- ligação permanente dos módulos 2, 3 e 4 através dos novos elementos de reforço – incrementa a rigidez longitudinal do módulo 3, permitindo obviar o “martelamento” entre os três corpos;
- ligação dos módulos 1 ao 2 e o 4 ao 5 ao nível da laje de esteira – impede o deslocamento excessivo devido à acção de um sismo, evitando o “martelamento” entre os corpos. Como se pode verificar na figura seguinte, é uma solução engenhosa que consta da introdução de varões embebidos em ambos os corpos, na zona das lajes de esteira, de modo a suprimir parcialmente as juntas de dilatação. O varão é colocado no

interior de uma bainha para que fique desligado do betão, permitindo pequenos deslocamentos devido a variações térmicas. São colocados espaçadores para que não ocorra encurvadura lateral do varão, por compressão, no interior da bainha (Figura 29) – (Flor, et al., 2009).

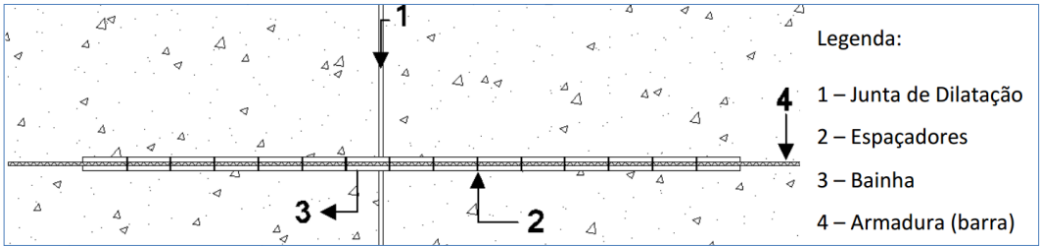


Figura 29 – Dispositivo para supressão parcial das juntas de dilatação (Perestrelo, 2010)

Em termos das fundações das paredes de reforço, verificou-se que a sobreposição das existentes com as novas, bem como a compatibilização dos respectivos esforços, evidenciava alguma complexidade. Assim, optou-se pelo posicionamento das paredes de reforço de modo a permitir soluções independentes de fundação (Figura 30) – (Flor, et al., 2009).

Considerando que os esforços levavam a análises de fundações com excentricidades elevadas e de difícil solução por meio de sapatas, optou-se pelo recurso a microestacas que resolvem os binários resultantes (Figura 31) – (Flor, et al., 2009).

A execução das referidas fundações e respectivo arranque obrigaram à demolição de parte da laje aligeirada do piso 0, bem como das vigas existentes. Mais uma vez serão mantidas as armaduras e saneada a sua ligação (Flor, et al., 2009).

Figura 30 – Fundação da parede (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Figura 31 – Microestacas de reforço (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

1.3.2. Pórticos treliçados metálicos para reforço sísmico do ginásio

A estrutura existente do ginásio era composta por pórticos transversais, constituídos por pilares e vigas em betão armado, como se pode verificar na Figura 35 (Flor, et al., 2009).

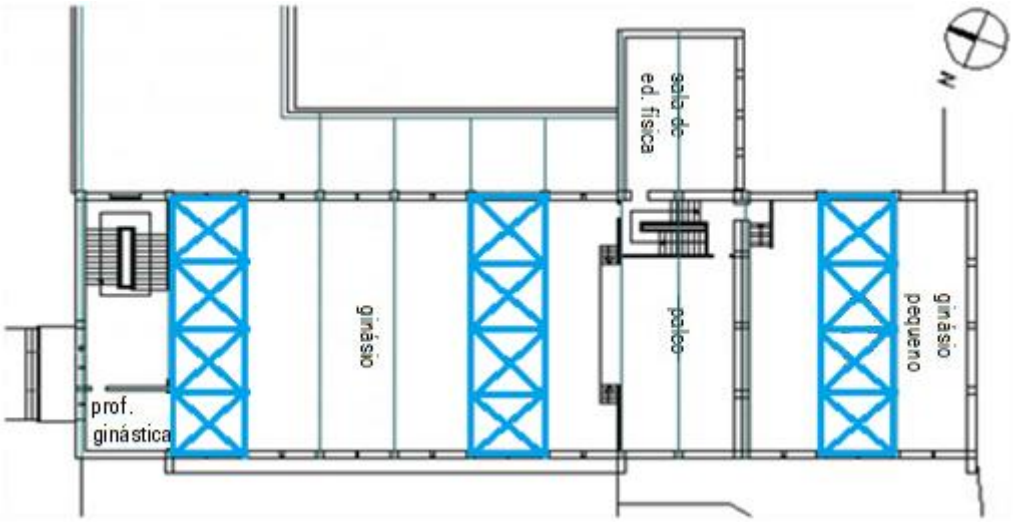


Figura 32 – Planta do antigo ginásio com a localização de pórticos metálicos treliçados introduzidos

Tendo em conta as massas mobilizadas, optou-se por um reforço da rigidez longitudinal dos edifícios através de uma solução de pórticos metálicos treliçados verticais, dois pórticos na zona do ginásio maior e um na área do ginásio menor/cantina (Figura 33 e Figura 34). O travamento descrito foi, ainda, prolongado à cobertura, de modo a melhorar o seu comportamento de diafragma (Flor, et al., 2009).

Recorreu-se a uma solução de microestacas para absorver os esforços na fundação dos pórticos metálicos (Flor, et al., 2009).

Figura 33 – Ginásio grande (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Figura 34 – Pórtico metálico de reforço (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

2. ESCOLA SECUNDÁRIA DA RAINHA SANTA ISABEL DE ESTREMOZ

2.1. Enquadramento

Na génese da actual Escola Secundária da Rainha Santa Isabel está a Escola de Artes e Ofícios de Estremoz, criada em 1924 com o propósito de colmatar as necessidades da economia local, promovendo o ensinamento de "artes tradicionais" – cantaria, cerâmica, bordados, fabrico de tapetes.

Na década de 1940 é alterada a denominação da instituição para Escola Industrial e Comercial de Estremoz (Figura 35), funcionando no edifício do Antigo Palácio do Castelo, a actual Pousada Rainha Santa Isabel, até 1962, ano em que foram concluídas as obras de um novo edifício, construído de raiz, para servir uma população de 650 educandos. São abertos novos cursos – Curso Geral de Administração e Comércio, de Electricidade, de Mecânica, de Formação Feminina, Curso de Secretariado e Relações Públicas e Curso de Contabilidade e Administração (Luna, et al., 1986).

Figura 35 – Lápide, adaptada de (Laranjeira, 2008-2010)

Com a reforma do sistema educativo empreendida pelo ministro da Educação Veiga Simão, em 1967/68, passa a funcionar no edifício somente o denominado Ciclo Preparatório. Em 1974/75, a secção liceal é transferida novamente para o edifício, adquirindo esta a denominação de Escola Secundária de Estremoz, servindo uma população de 1100 alunos (Luna, et al., 1986).

Em meados da década de 1980, a instituição oferece os cursos profissionais de electricidade, de auxiliar administrativo e, em 1986, o curso técnico-profissional de instalações eléctricas. Nesse ano é atingido um máximo histórico de população escolar, frequentando o estabelecimento cerca de 1400 alunos (Luna, et al., 1986).

No ano de 2005/06 o edifício escolar sofreu obras de ampliação e reorganização espacial. Houve a modificação do bar dos alunos, a construção de novas salas e gabinetes de trabalho para docentes, bem como melhoria das acessibilidades. Porém, a intervenção revelou-se infrutífera, tanto a nível funcional, como em termos de qualidade. Surgiram alguns problemas com o empreiteiro, nomeadamente no que diz respeito a garantias, ocorrendo a deterioração precoce de alguns materiais e o mau funcionamento de equipamentos (Correia, 2011)

A oferta educativa actual estende-se desde do ensino básico (3.º ciclo), ao ensino secundário – cursos científico-humanísticos (Ciências e Tecnologias; Ciências Socioeconómicas; Línguas e Humanidades; Artes Visuais) e cursos profissionais (Técnico de Turismo Ambiental e Rural; Técnico de Viticultura e Enologia; Técnico de Secretariado; Técnico de Apoio à Infância, tendo existido os cursos de Animador Sócio-Cultural e Técnico de Electrónica, Automação e Computadores). Existem, ainda, os Cursos de Educação e Formação de Adultos (EFA) – (Correia, 2011).

2.2. A empreitada

2.2.1. Situação pré-intervenção

Como refere o Prof. Carlos Luna, no ano de 1986, o edifício "*de anos a esta parte, tem sido transformado em salas (sem condições…), espaços inicialmente a descoberto e recreio, por necessidade de alargamento da instituição face ao aumento de frequência ou do número de cursos. Todavia, o espaço ocupado pela escola permite a construção de boas e novas edificações*" (Luna, et al., 1986).

O estabelecimento de ensino, como modelo de uma escola industrial e comercial, edificada sob responsabilidade da JCETS-MOP, apresentava-se dividido em três grandes núcleos – corpo principal, corpo de educação-física e o corpo das oficinas, como indicado no projecto inicial, datado do ano de 1960.

Como se pode constatar na Figura 36, à data do início da intervenção da Parque Escolar faziam parte do lote um edifício principal, que se desenvolvia segundo o eixo Sudoeste-Nordeste, dois corpos de oficinas, na vertente Norte, conectados ao edifício principal através de galerias cobertas. Na zona Sul, existiam o edifício do ginásio/auditório – em cujo rés-do-chão funcionava a cantina e os balneários – e dois corpos independentes onde funcionavam, respectivamente, as salas de desenho e os gabinetes de professores, separados por um campo de jogos descoberto. Existiam, ainda, duas pequenas construções onde funcionavam as instalações sanitárias.

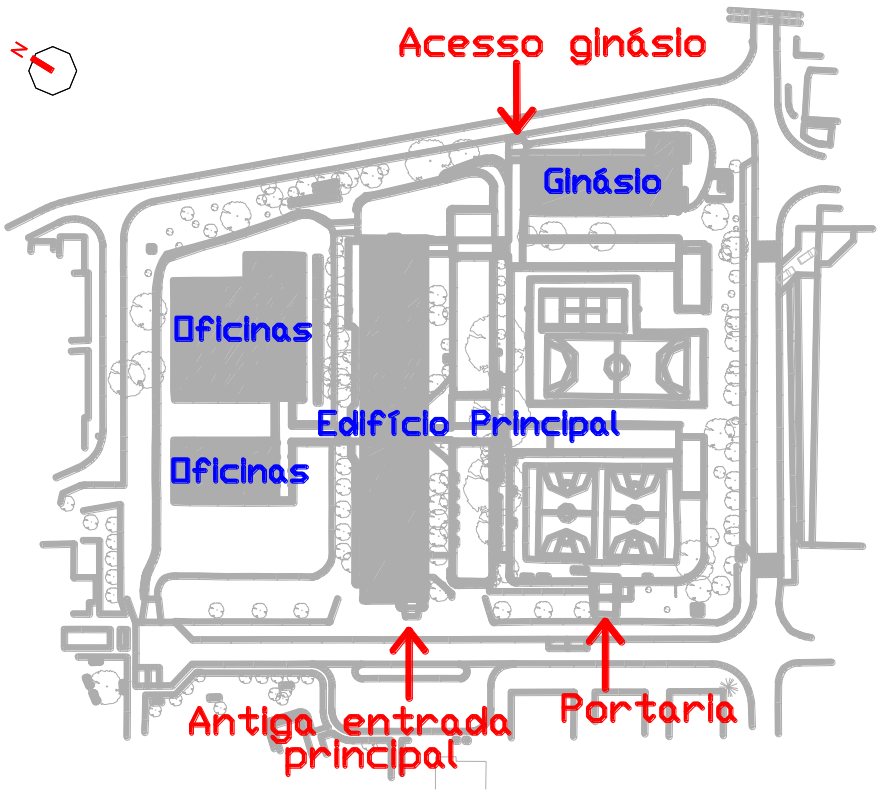


Figura 36 – Planta com o levantamento do existente no lote

O edifício apresentava, em algumas áreas, um avançado estado de degradação dos revestimentos que o compõem, nomeadamente os revestimentos dos alçados, caixilharias e dos pavimentos das salas de aula (Laranjeira, 2008).

Segundo o programa em curso, foi necessário dotar o edifício de sistemas de ventilação e conforto térmico e acústico que permitissem diminuir a má qualidade ambiente. Os alçados principais tinham os envidraçados das salas de aula orientados a Norte e a Sul, provocando grandes desequilíbrios térmicos (Laranjeira, 2008).

Para albergar todas as valências indispensáveis ao funcionamento da escola foi necessário a ampliação da área lectiva, remodelando-se/substituindo-se espaços existentes e acrescentando novos (Laranjeira, 2008).

2.2.2. Intervenção

2.2.2.1. Características da obra

A autoria e coordenação do projecto foram da responsabilidade do Arq. José Laranjeira, pertencente ao *atelier* "Oficina Ideias em Linha – Arquitectura e Design, Lda.".

O projecto de execução esteve a cargo de "Profico, Lda.".

O estabelecimento de ensino ficou dotado de capacidade para 45 turmas, 930 alunos, com um investimento de €12.077.011,37 (doze milhões, setenta e sete mil e onze euros e trinta e sete cêntimos), prolongando-se a obra por aproximadamente 15 meses, desde Agosto de 2009 a Outubro de 2010. Foram ainda executados alguns arranjos exteriores até Fevereiro de 2011. O lote tem uma dimensão de 21.820m^2, tendo sido reabilitada uma área de construção de 7.754m^2. A construção nova ocupa uma área de 7.709m^2.

A empreitada foi adjudicada às empresas de construção "Seth – Sociedade de Empreitadas e Trabalhos Hidráulicos, S.A.", "Engiarte – Engenharia e Construções, S.A." e "El&A – Edificadora Luz & Alves, Lda.".

A obra teve como gestão, fiscalização e coordenação de segurança, as entidades "Prospectiva – Projectos, Serviços, Estudo, S.A.", "GIBB Portugal – Consultores de Engenharia, Gestão e Ambiente S.A." e "EFS – Engenharia, Fiscalização e Serviços, Lda.".

2.2.2.2. Resumo da intervenção

O projecto nasce da intenção de dotar o equipamento de espaços lectivos, de convívio e de gestão mais convenientes, tendo em conta a idade da escola, a sua inserção na envolvente urbana, e os meios tecnológicos actualmente utilizados para incrementar a qualidade do ensino ministrado (Laranjeira, 2008).

Através do esboço da Figura 37, podem identificar-se, a azul, as novas áreas edificadas. No respeitante ao edifício principal (**corpo A**), no primeiro e segundo pisos, foi mantida a estrutura

formal, com a tipologia do corredor central e salas de aula em ambas as alas. A escada central é integralmente demolida, para dar lugar a uma outra, dotada de sistemas de protecção corta-fogo e saídas de emergência. Nas caixas de escadas existentes nos topos também é introduzida a protecção corta-fogo. No piso térreo foram instalados os serviços de secretaria e gestão da escola, bem como a biblioteca escolar/centro de recursos (Figura 38) – (Laranjeira, 2008).

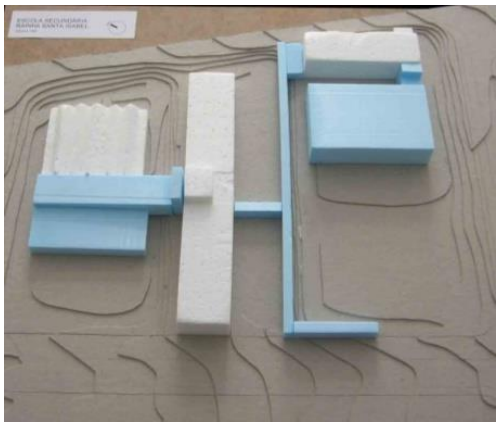


Figura 37 – Esboço do projecto (a azul os novos edifícios a construir) – (Laranjeira, 2008-2010)

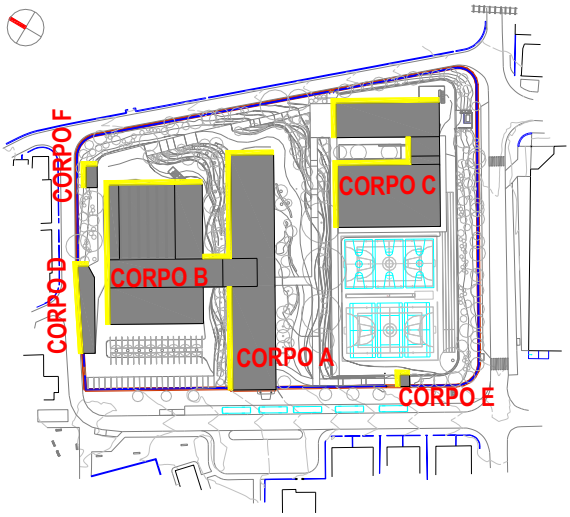


Figura 38 – Projecto (Laranjeira, 2008)

As antigas oficinas a Nascente (**corpo B**) foram remodeladas para aí instalar as salas de desenho e a sala de teatro, desfrutando do singular sistema de iluminação zenital. As oficinas a Poente foram demolidas, dando lugar às novas oficinas de electrotecnia e electrónica. Entre as antigas oficinas, foram instalados espaços colectivos de convívio, nomeadamente a cantina e as salas de alunos, ambas no piso térreo. No primeiro piso serão instalados os laboratórios de maior dimensão e com mais exigências técnicas (Laranjeira, 2008).

Foram mantidos em funcionamento o antigo ginásio e o auditório, tendo sido introduzidos os balneários no piso térreo (**corpo C**). Foi ainda construído o polidesportivo coberto em estreita ligação com estas áreas (Laranjeira, 2008).

O **corpo D** pode ser utilizado como armazém, principalmente de material de jardinagem e agricultura, mantendo-se o **corpo E** como a portaria de acesso ao recinto escolar. Foi, ainda, construído um pombal (**corpo F**).

Todos os espaços exteriores foram remodelados. Foi criada uma área ajardinada, de que os utentes da escola podem usufruir, a partir da sala dos alunos/cantina e espaços adjacentes. A ligação entre os diversos corpos é efectuada por percursos pedonais cobertos, estabelecendo continuidade física entre todos os espaços, o que permite a acessibilidade a todos os pontos da escola (Laranjeira, 2008).

2.2.2.3. Condicionamentos

Para prospeção das características do solo foi executada uma campanha de seis sondagens mecânicas – empresa "Tecnasol FGE" –, avaliando as condições geotécnicas associadas aos terrenos no local de implantação dos edifícios. O estudo geotécnico permitiu identificar duas unidades lito-estratigráficas:

- *Materiais de aterro* – relacionados provavelmente com operações de nivelamento topográfico, exibindo descompressão mecânica expressiva, devendo, por essa razão, ser rejeitados como leito de assentamento de elementos estruturais;

- *Metavulcanitos decompostos (W_5)* – caracterizados por argilas siltosas, de tons acinzentados, com núcleos menos alterados, dispersos arenosos e areias siltosas (granulometria fina a média, por vezes algo argilosos). O zonamento vertical destes terrenos interpretou uma descompressão mecânica superficial (Ensaio SPT entre 5 e 16 pancadas), à qual sucede um incremento expressivo e consistente da resistência indicada atingindo o ensaio 60 pancadas entre os 7,00 e os 12,00 metros de profundidade (Monteiro, et al., 2009).

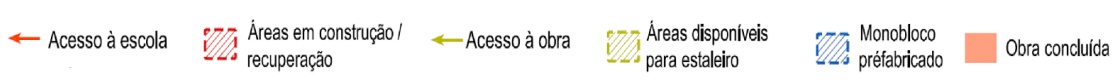
Após a recolha dos dados, considera que se está perante uma argila siltosa dura, a partir de profundidades compreendidas entre 1,00 e 3,50 metros. Deste modo, preconiza-se que os pilares e paredes estejam fundados em sapatas de betão armado aprofundadas, quando necessário, de forma a atingir as camadas com boas características de resistência (Monteiro, et al., 2009).

No que diz respeito aos condicionamentos arquitectónicos, e uma vez que o projecto prevê manter a matriz dos corpos A (Edifício Principal) e C (Ginásio), a intervenção fica condicionada pela estrutura de betão existente, executando-se demolições localizadas (Monteiro, et al., 2009).

2.2.2.4. Faseamento da obra

A empreitada, com a duração de 15 meses, dividiu-se em quatro fases distintas – Fase 0, 1, 2 e 3 –, como demonstrado no Quadro 1, da página seguinte.

Quadro 1 – Fases da empreitada (P.E., 2008)

Fase 0 – Duração: 1 mês	
	• Montagem de estaleiro; • Execução de trabalhos associados aos monoblocos; • Execução de trabalhos preparatórios nos edifícios existentes. No Corpo A, ao nível do piso 1, procede-se à abertura de porta de acesso à sala de professores e execução de divisória em gesso cartonado como separação escola/obra. Ao nível do piso 2, abre-se uma porta de acesso à Biblioteca e constrói-se divisória em gesso cartonado.
Fase 1 – Duração: 7 meses	
	• Recuperação e remodelação da metade Poente do edifício principal (Corpo A); • Construção do Corpo B – ligação entre o edifício principal e a as antigas oficinas, incorporando-as na sua constituição.
Fase 2 – Duração: 6 meses	
	• Recuperação e remodelação dos edifícios existentes: metade Nascente do edifício principal (Corpo A) e antigo ginásio (Corpo C); • Construção do pavilhão coberto (Corpo C).
Fase 3 – Duração: 1 mês	
	• Execução e finalização dos trabalhos associados aos arranjos exteriores.
Legenda: 	

2.2.2.5. Solução estrutural

Os espaços nos edifícios a manter foram estudados tendo em conta os sistemas construtivos existentes e as respectivas modulações estruturais, bem como os necessários reforços estruturais de incremento do grau antissísmico (Laranjeira, 2008).

O pavilhão coberto pertencente ao Corpo C, os arrumos (Corpo D) e o pombal (Corpo F) são construções completamente novas. O edifício principal (Corpo A) e o ginásio pertencente ao Corpo C foram mantidos, executando-se intervenções de reforço estrutural pelo exterior. As edificações do corpo B são praticamente novas, incorporando numa zona as estruturas existentes, parcialmente demolidas, das antigas oficinas (Monteiro, et al., 2009).

As soluções estruturais visaram corresponder às necessidades arquitectónicas, mantendo sempre presente a variável económica, na tentativa de encontrar a melhor solução possível no trinómio estrutural / funcional / económico (Monteiro, et al., 2009).

Corpo A (edifício principal)

Dado o bom estado geral do edifício, as intervenções estruturais caracterizam-se essencialmente pela aplicação de reforço pelo exterior, por intermédio de pórticos em betão armado, de modo a melhorar o comportamento sísmico das estruturas (Monteiro, et al., 2009).

Aquando da construção do edifício do corpo central foi adoptado um dimensionamento à acção sísmica, prova disso são as diagonais existentes no seu sistema de pórticos. No entanto, o regulamento aplicado na época era menos exigente que o actual, havendo a necessidade de se aumentar o grau de resistência ao sismo. Como se pode visualizar na Figura 39, um exemplo de incremento da resistência é a introdução, nas diagonais, de chapas metálicas, fixadas por intermédio de buchas metálicas.

Figura 39 – Reforço de viga diagonal através de adição de chapas metálicas (tirada em 10-12-2009) – (Laranjeira, 2008-2010)

O bloco de escadas centrais no corpo A foi demolido, sendo executada uma nova escada e uma ligação com o corpo B. A laje de cobertura do bloco central foi criteriosamente demolida,

construindo-se várias lajes aligeiradas planas – vigotas e abobadilhas –, apoiadas em cantoneiras metálicas, chumbadas às vigas existentes.

No projecto inicial estava preconizado a execução de uma estrutura metálica, sobre a cobertura existente, para criação de uma área técnica. No entanto, essa solução foi modificada, executando-se, em vez disso, um sistema de lajes em abobadilhas e vigotas, como evidenciado na Figura 40.

As vigas transversais existentes (Figura 41) foram parcialmente demolidas na sua zona central. Posteriormente foram chumbados a estas, perfis metálicos LNP 150x100x10 – a cor magenta na Figura 42 e Figura 43 –, servindo de apoio às vigotas pré-esforçadas. Deste modo, os esforços provenientes das lajes aligeiradas são transferidos à estrutura existente.

Figura 40 – Lajes aligeiradas da cobertura (tirada em 25-01-2010) – (Laranjeira, 2008-2010)

Figura 41 – Vigas transversais existentes (tirada em 23-12-2009) – (Laranjeira, 2008-2010)

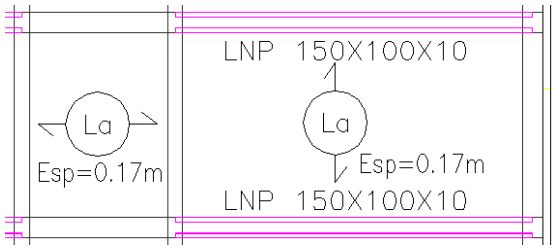


Figura 42 – Pormenor da planta da cobertura, adaptado de (Monteiro, *et al*., 2009)

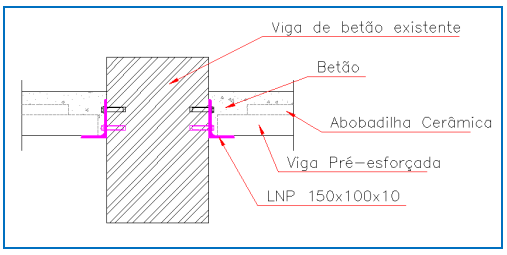


Figura 43 – Pormenor construtivo da ligação laje-viga, adaptado de (Monteiro, *et al*., 2009)

Corpo B (inclui antigas oficinas)

O Corpo B é constituído por três blocos separados entre si por juntas de dilatação, conforme evidenciado na

Figura 44. O bloco 1 é caracterizado por dois níveis em elevação, definindo uma área de implantação de cerca de 1170m^2, apresentando uma estrutura completamente nova. O bloco 2 apresenta quatro níveis em elevação, definindo uma área de implantação de cerca de 350m^2, com uma estrutura nova ligada ao nível dos pisos à estrutura existente do edifício principal,

parcialmente demolida. O bloco 3 foi inicialmente projectado para ter apenas um nível em elevação, no entanto, foi adaptado e possui uma zona com dois pisos com novas salas. Apresenta uma área de implantação de cerca de 1325m^2, com uma estrutura nova ligada ao nível dos pilares e vigas à estrutura existente do edifício das oficinas, parcialmente demolido (Monteiro, et al., 2009).

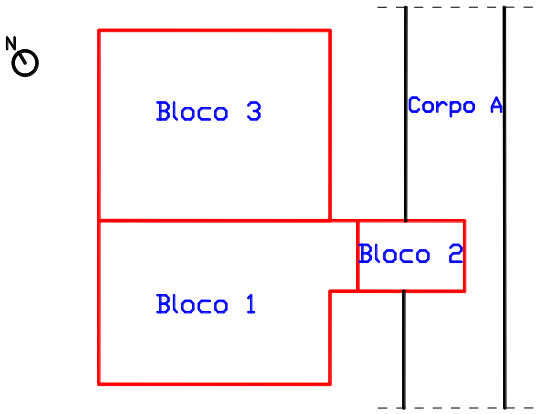


Figura 44 – Divisão do Corpo B

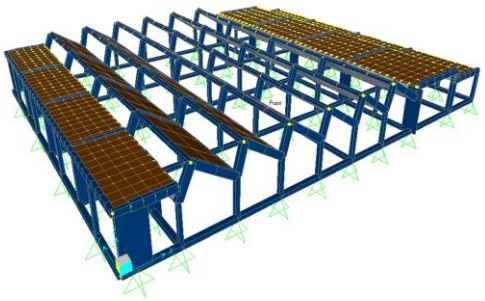


Figura 45 – Modelo estrutural do Corpo B – Bloco 3 (Monteiro, *et al*., 2009)

Bloco 1 – A estrutura apresenta um modelo vigado, sendo constituída por vãos máximos na ordem dos 6,00m. A laje vigada maciça apresenta uma espessura em geral de 0,18m, condicionada pelos vãos e carregamentos praticados, assim como pelos condicionamentos regulamentares de controlo de deformação e fendilhação. As lajes estão assentes numa estrutura reticulada de vigas apoiadas em pilares e paredes de betão armado. Relativamente às fundações, adoptou-se uma solução de fundações directas, em que os pilares e paredes de betão armado estão fundados em sapatas, ligadas entre si por vigas de fundação. Construiu-se, ainda, um ensoleiramento. Para o pavimento térreo preconiza-se uma solução de massame de betão armado assente sobre uma camada de brita compactada (Monteiro, et al., 2009).

Bloco 2 – As soluções são idênticas às praticadas no Bloco 1, salientando-se que os vãos máximos são da ordem dos 6,65m, existem lajes vigadas maciças de 0,18 e 0,20m de espessura, e as fundações directas são em sapatas rebaixadas (Monteiro, et al., 2009).

Bloco 3 – Apresenta soluções análogas às do Bloco 1, salientando-se que os vãos são da ordem dos 4,15m (Monteiro, et al., 2009).

No decorrer da escavação para construção das novas fundações do corpo B, efectuaram-se sondagens, verificando haver um conflito com as fundações existentes. As fundações antigas revelaram-se concêntricas, em vez de excêntricas, como considerado em projecto, impossibilitando a execução das novas fundações de forma contígua às existentes (Monteiro, et al., 2009).

Após reajustamento do projecto inicial, tomaram-se as seguintes medidas:

- rebaixamento da cota de fundação das sapatas de pilares e de paredes (Figura 46 e Figura 47);
- redução e eliminação de algumas sapatas, idênticas às da Figura 48;
- introdução de uma laje de ensoleiramento com dimensões em planta de 12,30x8,30m e com 0,50 a 0,60m de espessura (Figura 49).

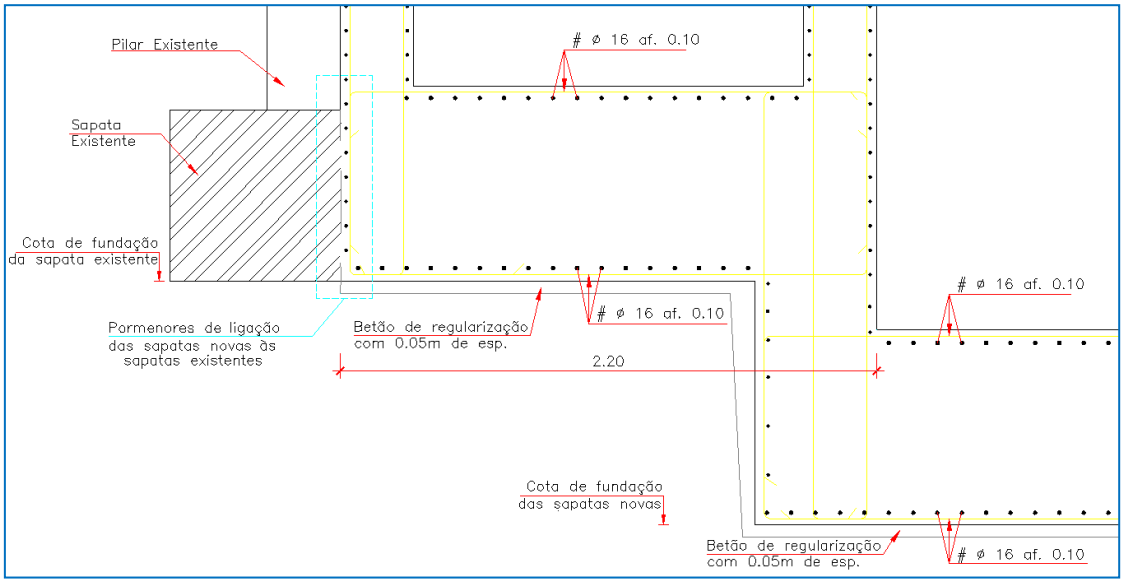

Pilar Existente
Sapata Existente
Cota de fundação da sapata existente
Pormenores de ligação das sapatas novas às sapatas existentes
Betão de regularização com 0.05m de esp.
ø 16 af. 0.10
ø 16 af. 0.10
2.20
ø 16 af. 0.10
Cota de fundação das sapatas novas
Betão de regularização com 0.05m de esp.
ø 16 af. 0.10

Figura 46 – Esquema do rebaixamento da cota em fundações, adaptado de (Monteiro, *et al.*, 2009)

Figura 47 – Rebaixamento da cota da fundação (tirada em 18-11-2009) – (Laranjeira, 2008-2010)

Figura 48 – Exemplo de sapatas (tirada em 18-11-2009) – (Laranjeira, 2008-2010)

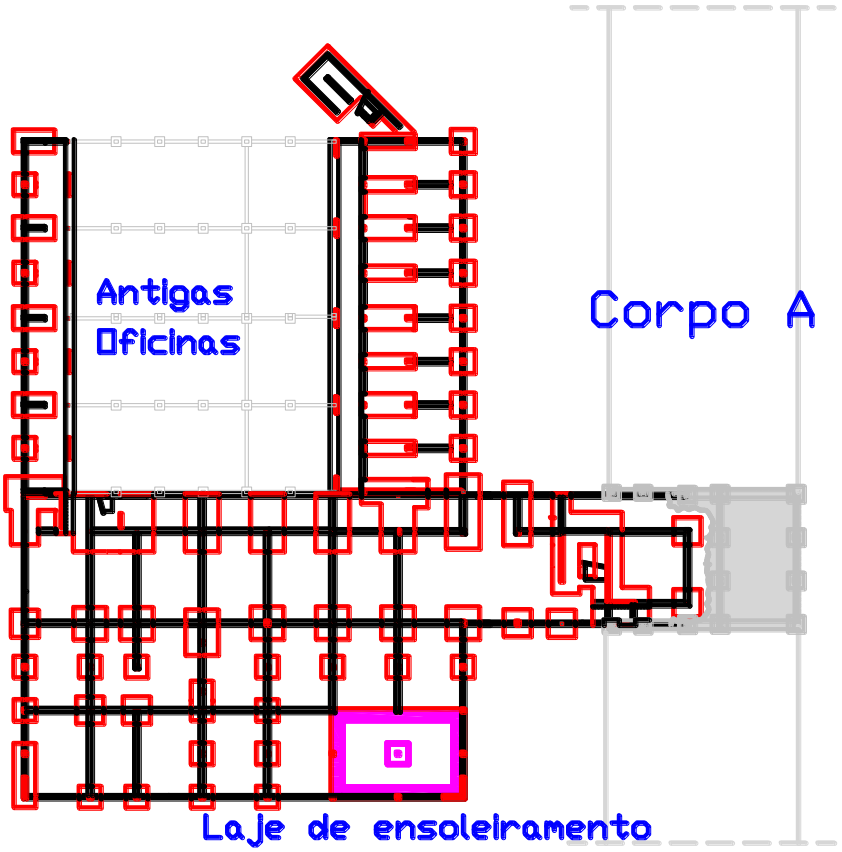


Figura 49 – Esquema da planta de fundações do Corpo B, adaptado de (Monteiro, *et al*., 2009)

Corpo C (zona do ginásio, balneários e cantina)

Tal como no caso do corpo A, o ginásio também apresentava boas características de conservação, tendo sido aplicado o reforço sísmico pelo exterior.

Constatou-se a existência de uma laje com flecha excessiva, tendo-se empregue laminados de fibra de carbono, assunto que se irá abordar mais adiante.

Teve ainda de se proceder à substituição do tabuado do piso do ginásio, uma vez que se encontrava danificado na sua periferia, devido a humidades provenientes dos paramentos (Figura 50), e apresentava colonização biológica e podridão em zonas centrais.

Figura 50 – Inspecção ao tabuado do ginásio (tirada em 14-09-2010) – (Laranjeira, 2008-2010)

Corpo C (zona do pavilhão coberto)

Este corpo caracteriza-se por possuir uma cobertura metálica destinada à utilização gimnodesportiva, garantindo-se uma altura útil mínima de 7,00m. A solução passou pela adopção de uma estrutura periférica porticada em betão armado no contorno do edifício (Figura 51). Os pilares têm uma secção 0,50x0,85m e apoiam uma cobertura metálica composta por perfis HEB 550 que vencem um vão de 25,50 metros. De referir que não existem madres de apoio, uma vez que se optou por uma solução de chapa de cobertura que permite vencer os 4,00 metros de afastamento entre vigas principais (Figura 52) – (Monteiro, et al., 2009).

Dado o edifício gimnodesportivo estar implantado alguns metros abaixo do terreno natural é possível atingir uma camada de solo que permite uma solução de fundação directa, através de sapatas em betão armado, tendo-se admitido uma tensão limite de 200KPa (Monteiro, et al., 2009).

Para o pavimento térreo deverá igualmente preconizar-se uma solução de massame de betão armado assente sobre uma camada de brita compactada (Monteiro, et al., 2009).

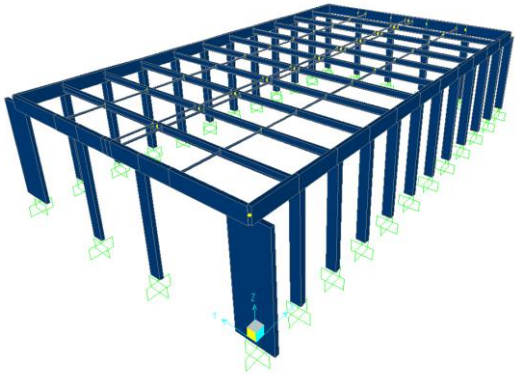


Figura 51 – Modelo estrutural do pavilhão (Monteiro, *et al.*, 2009)

Figura 52 – Cobertura autoportante (tirada em 09-09-2010) – (Laranjeira, 2008-2010)

Corpo D (arrumos)

O corpo D é caracterizado por apenas um nível em elevação, definindo uma área de implantação de cerca de 230m^2. Possui vãos máximos na ordem dos 6,00m, laje maciça vigada com 0,20m de espessura, condicionada pelos vãos, carregamentos praticados, controlo de deformação e fendilhação (Monteiro, *et al*., 2009).

Adoptou-se uma solução de fundações directas, em que os pilares e paredes de betão armado estão fundados em sapatas, ligadas entre si por vigas de fundação. Para o pavimento térreo preconiza-se uma solução de massame de betão armado assente sobre uma camada de brita compactada (Monteiro, *et al*., 2009).

2.2.2.6. Soluções de melhoramento acústico e térmico

Introduziram-se nos projectos de reabilitação soluções técnicas de modo a melhorar as características acústicas e térmicas, dimensionando as novas construções para que cumpram as necessidades regulamentares.

Isolamento acústico

O controlo dos sons aéreo e de percussão revela-se de extrema importância, tendo em conta os usos e os utentes de uma escola.

Nos tectos implementaram-se sistemas de controlo de ruído, nomeadamente nas suas formas de reverberação e absorção sonora, constituídos por tectos modulares de gesso cartonado perfurado e pintado, com manta de lã de rocha (Laranjeira, 2008).

Na empreitada em estudo usaram-se os seguintes isolamentos:

- Pavimentos: Membrana betuminosa com granulado de cortiça tipo *"Imperson-IMPERALUM";*
- Tectos falsos: Painéis ou mantas semi-rígidos, compostos por lã mineral tipo *"Arena coberturas-ISOVER"* (Figura 53);
- Paredes interiores: Membrana à base de polímeros sintéticos, sem asfalto, tipo *"Tecsound FT 75-TEXSA"* (Figura 54).

Figura 53 – Tectos falsos em gesso cartonado com isolamento acústico (tirada em 27-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Figura 54 – Sistema de isolamento acústico em paredes (Jacinto, 2008-2010)

Isolamento térmico

De modo a aumentar-se a inércia térmica, dificultando as trocas de energia pelos paramentos, pavimentos, tectos, portas ou janelas, implementaram-se algumas técnicas de melhoramento do comportamento térmico do edifício.

Nas fachadas exteriores foram usadas duas soluções distintas – espuma de poliuretano e sistema ETICS.

A primeira técnica tem a vantagem de cobrir todos os espaços e os elementos construtivos, eliminando todas as pontes térmicas. É, no entanto, uma solução que não pode ser usada isoladamente, sendo necessário aplicar um revestimento exterior. Neste caso, foram usados os painéis de betão reforçados com fibra de vidro.

O sistema ETICS, constituído por placas de poliestireno expandido – *Expanded polystyrene (*EPS), coladas ao suporte e protegidas com revestimento delgado (Figura 55), é uma solução usual e apresenta a vantagem de dispensar outras soluções de acabamento. No entanto, é necessário que se tenham cuidados na execução dos remates e na protecção do sistema, que é relativamente fácil de danificar.

Como é possível verificar na Figura 56, as janelas encontram-se recuadas em relação à fachada, para que haja algum sombreamento. Os vãos apresentam caixilharias e vidros duplos equipados com sistema de corte térmico. Nos alçados Poente e Sul dos edifícios dos corpos A e B, as janelas são sombreadas com recurso a palas e a estores de tecido de *Polyvinyl Chloride* (PVC), resistente às intempéries, instalados no exterior e com funcionamento manual (Laranjeira, 2008).

Figura 55 – Pormenor sistema ETICS (tirada em 24-03-2010) – (Laranjeira, 2008-2010)

Figura 56 – Sombreamento das janelas (tirada em 27-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Segundo o arquitecto José Laranjeira, os espaços públicos de circulação, nomeadamente os corredores e escaladas, foram dimensionados, para efeitos de projecto, como zonas exteriores, permitindo trocas de ar. Esta solução possibilita um melhor arejamento dos espaços, reduzindo as necessidades de ventilação mecânica. Por serem consideradas "rua", estas zonas, dispensam sistemas de aquecimento/arrefecimento, o que, em termos práticos, funciona bastante bem e diminui os gastos energéticos e o sobredimensionamento dos equipamentos AVAC.

Na obra foram usados os seguintes isolamentos:

- Paredes exteriores: Poliuretano projectado tipo *"Spray-BAYMER"* (Figura 57);
- Paredes exteriores: Sistema ETICS tipo *"Cappotto-VIERO"* (Figura 58);
- Paredes interiores: Placas de poliestireno extrudido tipo *"Styrodur 2500-BASF"*;
- Coberturas: Placas de poliestireno extrudido tipo *"Styrodur 3035-BASF"*.

Figura 57 – Poliuretano projectado (tirada em 09-03-2010) – (Laranjeira, 2008-2010)

Figura 58 – Sistema ETICS (tirada em 09-03-2010) – (Laranjeira, 2008-2010)

2.3. Técnicas de reabilitação/reforço estrutural utilizadas na Escola Secundária Rainha Santa Isabel

2.3.1. Introdução de elementos resistentes executados em betão projectado para reforço sísmico

Para se efectuar um reforço sísmico global, de modo a regularizar a rigidez da estrutura e homogeneizar os esforços ao longo do edifício, construiu-se um sistema porticado exterior, em volta do edifício principal (Corpo A) e do ginásio (Corpo C), em betão armado projectado, de acordo com o modelo indicado na Figura 59.

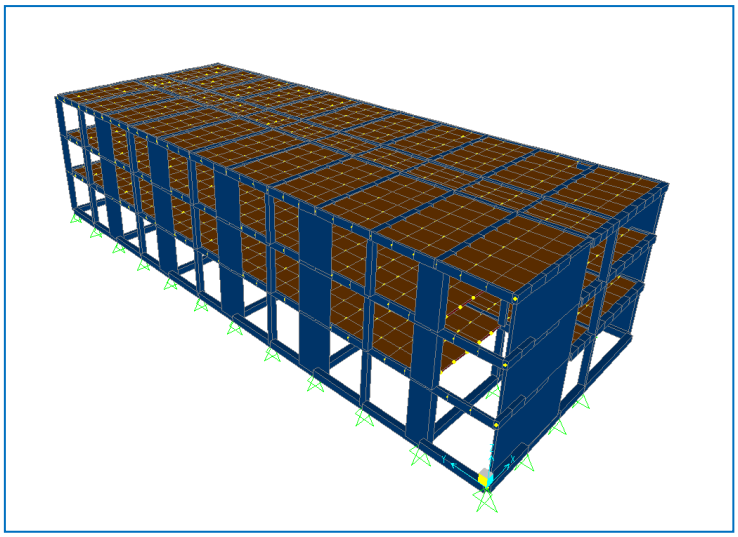


Figura 59 – Modelo de reforço sísmico do Corpo A (Monteiro, *et al.*, 2009)

Figura 60 – Picagem da estrutura para ligação de elementos de reforço (tirada em 01-07-2010) – (Laranjeira, 2008-2010)

Na execução deste reforço, procede-se à picagem dos elementos estruturais resistentes, retirando o recobrimento, de modo a que as armaduras sejam deixadas à vista e se obtenha uma superfície rugosa (Figura 60).

De notar que antes de se proceder à betonagem, tem de se efectuar uma limpeza abrasiva da superfície de contacto, com jacto de água de alta pressão, até estarem avivadas as arestas de superfície de contacto (Ponto 2 da Figura 66) – (Monteiro, et al., 2009). Após correcto saneamento das armaduras existentes, fixam-se as novas e colocam-se cofragens laterais (Figura 61 e Figura 63).

Posteriormente, betonam-se os elementos estruturais, projectando-se betão directamente contra a superfície existente. Esta técnica garante uma melhor uniformidade e homogeneidade do betão e uma maior velocidade de execução, acarretando também maior desperdício de material (Figura 62 e Figura 64).

Edificio principal (Corpo A)

Figura 61 – Colocação de armaduras (tirada em 13-07-2010) – (Laranjeira, 2008-2010)

Figura 62 – Betonagem com betão projectado (tirada em 29-07-2010) – (Laranjeira, 2008-2010)

Ginásio (Corpo C)

Figura 63 – Execução de cofragens (tirada em 13-08-2010) – (Laranjeira, 2008-2010)

Figura 64 – Estrutura reforçada (tirada em 18-08-2010) – (Laranjeira, 2008-2010)

Como se pode verificar na planta de fundações da Figura 65, os novos elementos de reforço estão ligados às fundações existentes.

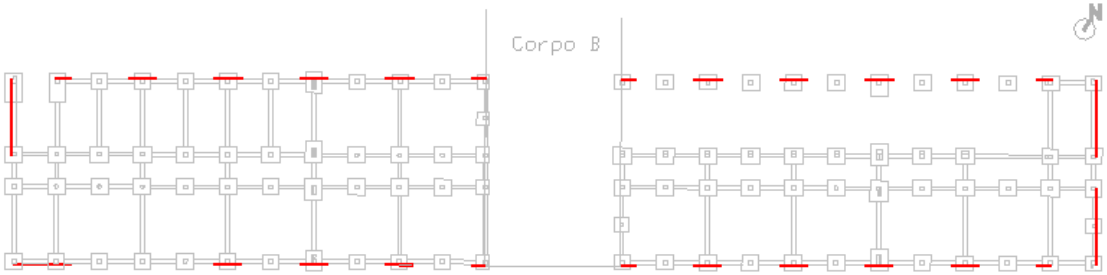


Figura 65 – Planta de fundações do Corpo A, com indicação, a vermelho, dos novos elementos resistentes construídos

Quando a estrutura é solicitada pela força horizontal de um sismo, surge um grande aumento de esforços nas sapatas, principalmente em termos de momento flector. Salienta-se, portanto, o reforço da ligação entre o betão novo e o existente, através de aferrolhamento com varões de aço.

Pode visualizar-se na Figura 66, indicado com o ponto 1, a ligação por aferrolhamento da parede de betão ao pilar de betão por intermédio de varão em aço A500 NR. Após a furação do pilar existente, executa-se uma limpeza a jacto de ar, colocar-se os varões e enche-se os furos com argamassa não retráctil, de alta resistência, à base de resina epoxídica (Monteiro, et al., 2009).

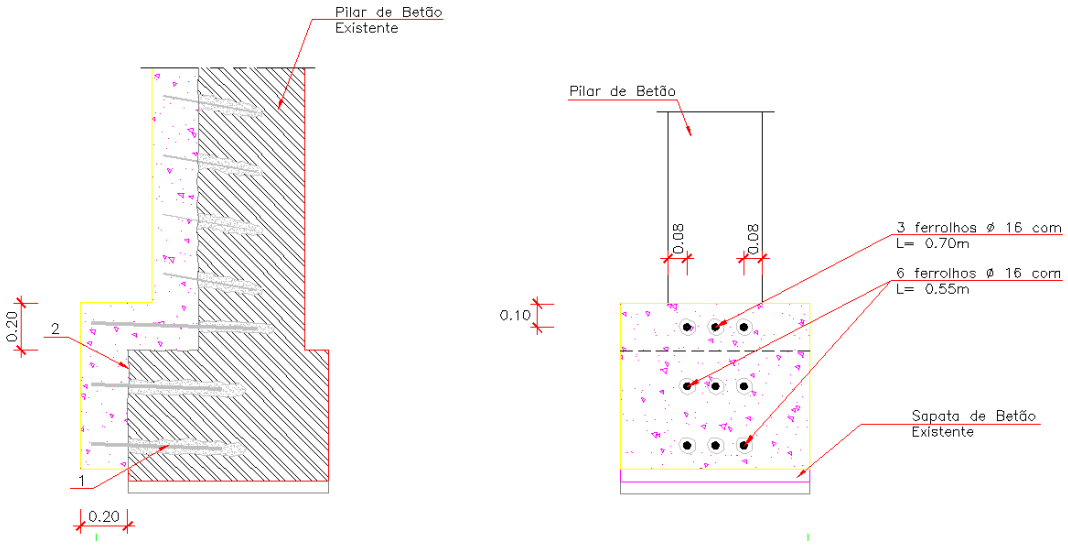


Figura 66 – Pormenor da ligação entre pilares de reforço e as sapatas de betão existentes, adaptado de (Monteiro, *et al.*, 2009)

2.3.1. Reforço à flexão de vigotas com laminados de carbono em laje aligeirada

A laje assinalada na Figura 67 pertence ao edifício do ginásio, sendo parte constituinte da varanda de acesso ao Auditório, ao nível do 1.º piso (Figura 68). Este elemento estrutural constituía a cobertura de uma sala onde era guardado material desportivo e apresentava bastantes sinais de deterioração.

Figura 67 – Planta do piso 1 do Corpo C, com indicação da laje reforçada (Monteiro, et al., 2009)

A laje em estudo manifestava algumas anomalias, tais como infiltrações, colonização biológica e, mais grave, flecha excessiva (Figura 69). As suas armaduras apresentavam-se em avançado estado de corrosão.

De forma a corrigir-se o problema da flecha excessiva, preconizou-se uma solução de reforço estrutural da laje aplicando, na face inferior das suas vigotas, com uma cola epóxi, um laminado de polímeros reforçados com fibras de carbono (CFRP), como se pode visualizar na Figura 70.

Figura 68 – Cobertura da laje (tirada em 25-07-2008), adaptada de (Laranjeira, 2008-2010)

Figura 69 – Degradação da laje (tirada em 25-07-2008) – (Laranjeira, 2008-2010)

Após a execução do reforço estruturante, aplicou-se um reforço térmico com poliuretano projectado, como pode ser conferido na Figura 71.

Figura 70 – Aplicação de laminado CFRP (Jacinto, 2008-2010)

Figura 71 – Isolamento térmico da laje reforçada (Jacinto, 2008-2010)

Em suma, a intervenção ocorreu de acordo com os seguintes passos:

- 1.º passo – retirar todos os elementos presentes no tecto, incluindo picagem do reboco;
- 2.º passo – escorar a laje e proceder à anulação da flecha com equipamento hidráulico;
- 3.º passo – aplicação do laminado CFRP na zona das vigotas (antes de se aplicar a cola epóxi, tem de se garantir que o suporte se encontra bem limpo, livre de contaminantes e com uma textura suficientemente rugosa);
- 4.º passo – garantir os tempos de secagem.

Neste capítulo procurar-se-á dar uma breve noção das estratégias de intervenção e respectivas técnicas de reforço sísmico. Analisar-se-á, ao pormenor, algumas técnicas utilizadas nos dois estabelecimentos de ensino estudados anteriormente.

1. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

1.1. Reabilitação e/ou reforço de estruturas de betão armado

Reabilitação

A necessidade de reabilitação de uma construção – restituição das condições iniciais – é uma consequência do aparecimento de anomalias causadas por degradação dos materiais com o tempo, com a utilização, ou por situações de acidente como explosões, incêndios ou sismos (Juvandes, et al., 1996).

Reabilita-se uma estrutura com o intuito de restituir a capacidade dos seus materiais em termos de rigidez, de desempenho funcional ou de aspecto visual. Os elementos a reabilitar podem apresentar inúmeras anomalias, como por exemplo: fendas, vazios, zonas fragmentadas, desagregadas, contaminadas ou com corrosão acentuada (Flores_a, et al., 2008).

Reforço

O termo reforço – aumento da capacidade resistente e/ou da rigidez – emprega-se quando são introduzidas melhorias numa estrutura para além do seu nível inicial (Juvandes, et al., 1996).

A necessidade de reforço de elementos surge, normalmente, por existirem novas acções mais gravosas que não estavam preconizadas no projecto inicial, e que tornam a capacidade existente insuficiente às novas solicitações. Isto sucede, por exemplo, por um aumento de tráfego numa ponte, por incremento de carga devido a uma mudança de uso num edifício, ou mesmo por adaptação a novos regulamentos.

Aquando duma intervenção estrutural, caso se pretenda adaptar, na medida do possível, uma construção existente à nova regulamentação sísmica, nomeadamente ao Eurocódigo 8, tem de se promover o reforço da estrutura. Mesmo que se pretenda manter o mesmo nível de segurança estrutural, tem de se incrementar o desempenho do sistema, pois a nova legislação é mais condicionante que a antiga.

Sempre que se pretende dar a uma edificação ou a parte desta, mesmo que temporariamente, um uso diferente daquele para que foi projectada, construída ou licenciada, agravando as acções inicialmente consideradas, deve demonstrar-se que os elementos estruturais e as suas fundações suportam com segurança os efeitos desse agravamento (CSOPT, 2007).

Regulamento Geral de Edificações

O Regulamento Geral de Edificações (RGE) é um documento que promove a regulamentação das empreitadas em edifícios, sendo uma revisão do antigo Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU). Aplica-se à construção de novas edificações, a obras em construções existentes e a demolições. Exceptuam-se edifícios classificados, ou em zonas de protecção (CSOPT, 2007).

As intervenções em edificações existentes são classificadas segundo quatro níveis, de acordo com as categorias identificadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Categoriais de intervenção em edifícios segundo o RGE (CSOPT, 2007)

<table>
<tr><th>Nível de intervenção</th><th>Segurança estrutural</th></tr>
<tr><td>Nível I: Q ≤ 5%</td><td><u>Não piorar</u> – as condições de segurança estrutural aplicáveis não podem ser inferiores às existentes antes da intervenção.</td></tr>
<tr><td>Nível II: 5% < Q ≤ 25%</td><td rowspan="2"><u>Promover melhorias</u> – deve-se garantir, para as acções permanentes e sobrecargas, as condições segurança estrutural das edificações novas, mas combinando-as com as restantes acções variáveis com um coeficiente de segurança unitário (acção sísmica sem majoração).</td></tr>
<tr><td>Nível III: 25% < Q ≤ 50%</td></tr>
<tr><td>Nível IV: Q > 50%</td><td><u>Igualar à construção nova</u> – deve-se garantir as condições de segurança estrutural aplicáveis às edificações novas (acção sísmica majorada em 1,5).</td></tr>
<tr><td colspan="2">Nota: Q traduz a percentagem do custo C_i, da intervenção relativamente ao custo C_n, da construção de um edifício novo, com uma área bruta idêntica à do edifício original, calculado com base nos preços por m^2 de área bruta de construção legalmente definidos, ou seja:
$$Q = \frac{C_i}{C_n} \times 100$$
No cálculo de Q, o custo da intervenção (C_i), deve ser obtido adicionando-lhe os custos acumulados de todas as intervenções sujeitas a autorização ou a licenciamento executadas na edificação nos 5 (cinco) anos anteriores, ou desde a última intervenção do nível IV.</td></tr>
</table>

Em termos de segurança estrutural, o RGE preconiza que as edificações devem ser projectadas, construídas e mantidas de modo a que esta seja garantida ao longo da sua vida útil (CSOPT, 2007).

O RGE define ainda que na construção de novos edifícios deve sempre existir uma junta de separação com os edifícios adjacentes. Sempre que entre edifícios adjacentes, ou entre corpos

do mesmo edifício, existam diferenças de altura superiores ao dobro da altura de um deles, e que o de menor altura tenha pelo menos quatro pisos, a junta de separação referida deve ser dimensionada de modo a absorver os deslocamentos sísmicos (CSOPT, 2007).

1.2. Estratégias de reforço sísmico

A filosofia inerente ao dimensionamento sísmico prende-se com a busca de um equilíbrio entre a capacidade de deformação de uma estrutura e a sua capacidade resistente. Se, por um lado, aquando do surgimento de um sismo, é de extrema importância possuir uma boa capacidade de dissipação de energia e ter ductilidade, por outro, também é necessário que a estrutura não perca a capacidade resistente às cargas verticais e horizontais (Silva, 2007).

O objectivo inicial de um reforço sísmico deve passar pela correcção da principal fragilidade da estrutura ao efeito do sismo, aquela que acarretará maiores efeitos negativos em termos de segurança (Wenk, 2008). Quando surge um terramoto, as estruturas são submetidas ao efeito combinado da força da gravidade e da força sísmica, podendo colapsar se a capacidade de absorção dos seus elementos mais fracos não for suficiente para dissipar a energia libertada e resistir às forças impulsivas (Akiyama, 2002).

O colapso de uma estrutura poderá dar-se devido a condições exteriores ou interiores à construção. No primeiro caso podem ocorrer “choques” com edifícios adjacentes, provocando rotura dos pilares de extremidade ou de outros elementos estruturais. Em relação às condições interiores pode ocorrer uma falha no sistema estrutural ou deficiência em determinados elementos. Em relação ao sistema estrutural podemos ter irregularidades de rigidez, de massa ou interrupções nos caminhos das cargas, o que pode provocar uma acumulação de tensões e deformações em zonas singulares. Esta falta de regularidade poderá ser vertical (nos alçados), ou no plano horizontal – centro de gravidade não coincidente com o centro de rigidez, o que devido aos efeitos de torção, pode originar problemas nos elementos de extremidade. No que diz respeito às deficiências em elementos, podemos ter problemas em colunas (corte e flexão, envolvendo esmagamento de betão), na ligação viga-coluna (zonas sensíveis, grande concentração de tensões e deformações), no diafragma estrutural (assegura a transmissão de cargas entre o plano horizontal e os elementos estruturais, bem como a sua distribuição pelos vários elementos verticais) ou em elementos secundários ou não estruturais (devem ter capacidade suficiente para acompanhar os deslocamentos laterais da estrutura) – (Silva, 2007).

Outros dois aspectos fundamentais prendem-se com: a obrigatoriedade de garantir uma ligação coesa entre o novo e o existente; e a promoção de uma eficiente transferência ao solo dos efeitos da acção sísmica, através das fundações (Wenk, 2008).

A melhoria do comportamento estrutural de uma construção pode ser atingida através de diferentes estratégias. A escolha da estratégia ideal depende de uma boa compreensão do

comportamento dinâmico e de uma eficaz adaptação aos usos, isto é, as técnicas de reforço não devem comprometer a funcionalidade da construção (Wenk, 2008).

O reforço às acções dinâmicas, presentes num sismo, requer procedimentos peculiares, em contraste com os habitualmente seguidos para cargas estáticas. Um adequado reforço sísmico deve procurar atingir uma combinação óptima das seguintes três características de uma estrutura: **rigidez**, **capacidade de resistência** e **de deformação** (Wenk, 2008).

As estratégias de reforço que se foquem somente numa das três características anteriores devem ser evitadas, pois não consideram os efeitos negativos das restantes. Com excepção da Estratégia 1: Melhoria da regularidade, todas as outras limitam-se a modificar uma única característica da estrutura. Na prática, quando se efectua uma intervenção numa construção, tem de se estudar a melhor combinação de várias estratégias (Wenk, 2008).

Estratégia 1: Melhoria da regularidade

Normalmente, o reforço estrutural tem como meta incrementar a regularidade, impondo uma melhoria da distribuição da rigidez, resistência e massa do sistema estrutural, em altura e em planta (Wenk, 2008).

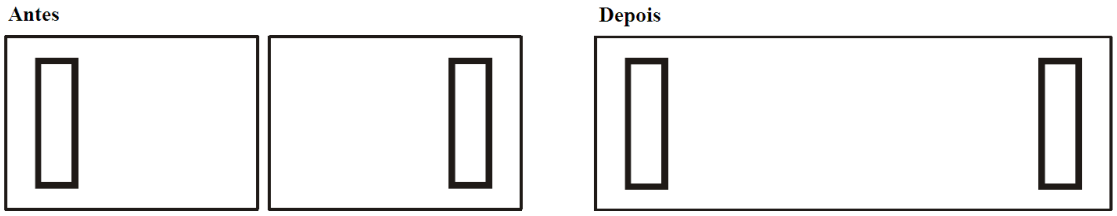


Figura 72 – Exemplo aplicação da estratégia de melhoria da regularidade, adaptado de (Wenk, 2008)

Um exemplo prático, como evidenciado na Figura 72, é a transformação dum sistema estrutural excêntrico num regular. Isto é, com a eliminação das juntas de dilatação, dois corpos inicialmente separados, passam a um único corpo simétrico, com dois núcleos de betão localizados junto das fachadas nas extremidades do edifício (Wenk, 2008).

Estratégia 2: Aumento da resistência e/ou rigidez

A estratégia clássica baseia-se no reforço do sistema estrutural através da introdução de novos elementos, tais como, paredes resistentes ou treliças metálicas (Wenk, 2008).

Com esta estratégia promove-se o incremento da resistência e da rigidez nas construções, permanecendo a capacidade de deformação praticamente inalterada (Wenk, 2008).

Estratégia 3: Aumento da ductilidade

A ductilidade é a capacidade de deformação plástica para além do limite da elasticidade ou da capacidade de deformação elástica. Elementos estruturais frágeis, como é o caso de paredes

de alvenaria, podem-se tornar mais dúcteis, por exemplo, com a adição de tiras reforçadas com fibras de carbono (Wenk, 2008).

O aumento da ductilidade produz um incremento na capacidade de deformação total (elástica e plástica), embora a resistência última permaneça praticamente inalterada, aumentando de uma forma muito residual (Wenk, 2008).

Estratégia 4: Introdução de graus de liberdade

A eliminação de apoios, introduzindo graus de liberdade no sistema estrutural, reduz a sua rigidez, promovendo um aumento dos deslocamentos. Este aumento origina uma redução da frequência própria de vibração durante o sismo, suscitando geralmente uma diminuição da força horizontal equivalente à acção sísmica a absorver pela construção (Wenk, 2008).

Quando se trata de um isolamento sísmico da base, o objectivo será que a estrutura, com comportamento de corpo rígido, se "separe" do movimento do solo, através da intercalação de uma camada com baixa rigidez horizontal entre esta e a sua fundação (Guerreiro, 2004).

Uma aplicação prática desta estratégia é a transformação do sistema de deslizamento longitudinal do tabuleiro de uma ponte. Com a introdução de graus de liberdade, a ligação entre o tabuleiro e o pilar, inicialmente monolítica, passa a possibilitar o deslocamento horizontal. Esta introdução de liberdade permite "isolar" o tabuleiro dos movimentos do solo devido às forças sísmicas, e evitar a transmissão de momentos flectores entre o tabuleiro e os pilares. Tipicamente, esse isolamento é conseguido recorrendo-se a apoios de alto amortecimento, como é o caso dos blocos de borracha reforçados (HDRB – *High damping rubber bearing*) – (Figura 73) – (Wenk, 2008).

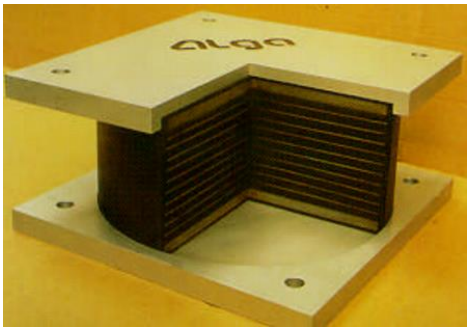


Figura 73 – HDRB (*High damping rubber bearing*) – (Guerreiro, 2004)

Estratégia 5: Aumento do amortecimento

A acção sísmica é responsável pela transferência para a estrutura de uma grande quantidade de energia. Essa energia ou é absorvida através da deformação da estrutura ou é dissipada em processos mais ou menos controlados (Monteiro, 2011).

Uma forma de dissipar essa energia sísmica é através de amortecimento (Wenk, 2008). Os sistemas de dissipação de energia são dispositivos especialmente concebidos e testados para dissipar grandes níveis de energia sem se deteriorarem. O facto de, através destes dispositivos, se conseguir dissipar a energia de uma forma eficaz, fiável e sem danos estruturais, torna esta tecnologia uma boa alternativa na protecção sísmica de novas estruturas, assim como a nível de reforço sísmico de estruturas já existentes (Monteiro, 2011).

Figura 74 – Dissipadores histeréticos usados na Ponte Vasco da Gama (Figueiredo, 2008)

Para optimizar o desempenho dos sistemas de dissipação, estes devem ser colocados de forma a maximizar a deformação dos dissipadores. Em pontes aplicam-se, normalmente, entre o tabuleiro e os encontros, enquanto em edifícios são montados nas diagonais (Monteiro, 2011).

Existem os seguintes tipos de dissipadores de energia:

- Metálicos histeréticos – funcionam tirando partido da capacidade de deformação plástica de elementos metálicos (Figura 74);
- Visco-elásticos – constituídos por materiais poliméricos que dissipam energia através de deformações por corte. Dissipadores utilizados como complemento e em associação com outros dispositivos de prevenção sísmica (Figura 75);

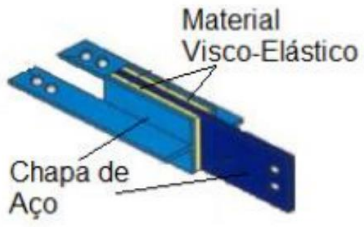


Figura 75 – Esquema de dispositivo visco-elástico (Monteiro, 2011)

Figura 76 – Dissipador electro-indutivo (Monteiro, 2011)

- Electro-indutivos – dissipa energia cinética, na forma de calor, resultante da dissipação de electricidade gerada pela velocidade do movimento sísmico (Figura 76);
- Por atrito – dissipa energia cinética, na forma de calor, gerada pela fricção de dois materiais (Figura 77);
- Viscosos – garantem a dissipação de energia ao forçar a passagem de um fluido especialmente viscoso através de orifícios muito pequenos utilizando, para isso, um sistema cilindro-pistão. Este sistema tem a vantagem de, simultaneamente, permitir a redução dos esforços e das deformações de uma estrutura (Figura 78).

Figura 77 – Dissipadores por atrito, Universidade de Concordia, Canadá (Monteiro, 2011)

Figura 78 – Dissipador viscoso (Monteiro, 2011)

Estratégia 6: Redução da massa

Se a massa de um edifício for reduzida, serão menores as forças de inércia e as tensões produzidas durante um tremor de terra (Wenk, 2008).

Em termos práticos, a redução da massa é feita através de uma "limpeza" de componentes dispensáveis ao nível do telhado e dos pisos mais elevados. Esta acção pode significar uma perda de área útil ao nível dos pisos superiores, geralmente utilizados como arrecadação (Wenk, 2008).

Como princípio, devem dar-se preferência a elementos mais leves em detrimento dos mais pesados, principalmente quando se trata de elementos não-estruturais, mais facilmente substituídos (Wenk, 2008).

Estratégia 7: Mudança de uso

O cumprimento das normas sísmicas pode ser alcançado por medidas operacionais, em vez de medidas estruturais, isto é, desclassificando o edifício. Exemplificando, um hospital pode ser transformado num edifício residencial, de menor importância, com classe sísmica inferior (Wenk, 2008).

Podem, então, sintetizar-se, no Quadro 3, as principais deficiências sísmicas em estruturas de betão armado, bem como os pressupostos orientadores de um projecto de reforço sísmico, de acordo com a norma EN1998-1 – Edifícios (Importância da Concepção Estrutural).

Quadro 3 – Intervenção de reforço sísmico em estruturas de betão armado

Problemas fundamentais	• Irregularidades excessivas, em termos de rigidez e de resistência, tanto altura como em planta; • Insuficiente resistência ao esforço transverso. Em pilares: colocação de cintas muito afastadas. Em vigas: uso de armaduras inclinadas, de efeito discutível quando ocorre inversão de esforços; • Limitações gerais de pormenorização com consequências negativas sobre a ductilidade e capacidade de deformação, referindo-se a insuficiente amarração longitudinal em pilares e vigas. Nota: Numa intervenção poderá ser necessário incrementar a ductilidade localmente quando se aumenta a resistência, pois tem de se garantir que não haja redução da ductilidade global da estrutura (Silva, 2007) e (Proença, et al., 2011).
Princípios orientadores da execução de projectos	• Simplicidade estrutural; • Uniformidade, simetria e redundância da estrutura; • Resistência e rigidez nas duas direcções; • Resistência e rigidez de torção; • Acção de diafragma ao nível dos pisos; • Fundação adequada (Carvalho, 2009).

1.3. Técnicas de reforço sísmico

Após definidas as estratégias usada numa intervenção para incrementar o nível de segurança estrutural às acções sísmicas, apresentam-se em seguida um leque de técnicas que possibilitam a implementação das estratégias anteriores.

A selecção do tipo de técnica de reforço é um processo complexo, que depende das condicionantes, dos resultados pretendidos, e das conclusões de uma avaliação ao edificado. A extensão e urgência da possível empreitada, também é baseada na informação estrutural recolhida, e deve ser definida de modo a minimizar os custos, mas garantindo os interesses sociais inerentes (Silva, 2007).

As técnicas existentes podem passar pelo reforço de elementos estruturais ou pela introdução de novos elementos resistentes. Alternativamente ao reforço, a estrutura pode ser protegida da acção dos sismos, através, por exemplo, do isolamento sísmico de base ou de mecanismos de dissipação de energia. De qualquer forma, uma intervenção deve considerar-se no âmbito do sistema estrutural global, evitando-se concentrações de tensões em zonas singulares. Em

todas as situações, nunca se devem olvidar os efeitos estruturais ao nível da fundação (Silva, 2007).

Como técnicas de reforço mais habituais, referem-se as seguintes:

- **encamisamento de secções com betão armado**

É um processo bastante comum que consiste no aumento da secção de pilares e/ou vigas, introduzindo-se armaduras de aço e betão (Proença, et al., 2011). É, normalmente, utilizado para incrementar a capacidade resistente à flexão, simples e composta, bem como a resistência ao corte. Também pode ser usado na melhoria da resistência em zonas de amarração ou em ligações deficientes, e na conversão de um sistema *coluna fraca-viga forte* num de *coluna forte-viga fraca* (Silva, 2007).

Esta técnica é relativamente económica, de rápida execução e com grande eficácia, desde que garantida a aderência ao substrato (comportamento monolítico). Pode apresentar problemas em termos de funcionalidade ou estética, uma vez as peças a reforçar aumentam significativamente as suas dimensões, reduzindo área útil nas construções (Flores_b, et al., 2008).

- **colagem de chapas metálicas *(usado na ESRSIsabel)***

Técnica de reparação onde se procede à fixação de armaduras externas à secção preexistente, normalmente recorrendo-se a chapas metálicas coladas com resina epóxi e/ou buchas metálicas (Figura 79). É aplicável em vigas, lajes, pilares e paredes, tendo como objectivo a melhoria da capacidade resistente à flexão ou ao corte (esforço transverso) – (Proença, et al., 2011). Salvaguarda-se que é aplicável quando as dimensões dos elementos e a qualidade do betão se revelarem adequados aos esforços (Silva, 2007).

A técnica é de fácil execução, e permite uma melhoria da capacidade resistente, embora apresente um custo elevado, havendo necessidade de protecção das chapas ao fogo e à corrosão, bem como de garantir uma boa aderência com a secção existente (Flores_b, et al., 2008).

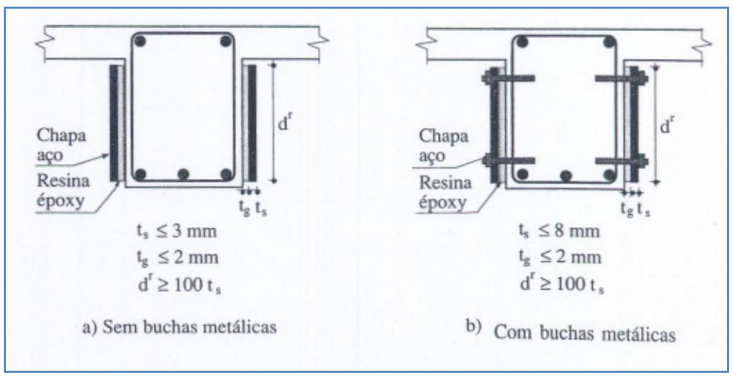


Figura 79 – Reforço ao esforço transverso por adição de chapas (Appleton, *et al.*, Janeiro de 1997)

- **colagem de elementos de FRP (*Fibre Reinforced Plastic*) – *(usado na ESRSIsabel)***

Procede-se ao incremento da capacidade resistente dos elementos de betão armado mediante adição de mantas ou laminados de materiais compósitos reforçados com fibras. As fibras poderão ser de carbono (CFRP), de vidro (GFRP) ou de aramida (AFRP). Como na técnica anterior, estes materiais poderão servir como armaduras, beneficiando a capacidade resistente ao corte ou flexão dos elementos, ou poderão ser utilizados para melhorar o confinamento do betão em zonas críticas, geralmente em pilares (Proença, et al., 2011).

Esta técnica será pormenorizada mais adiante no texto.

- **pré-esforço exterior**

Quando se pretende aumentar a capacidade resistente à flexão e ao corte, corrigir o comportamento de serviço – flecha e/ou fendilhação excessivas –, ou alterar o sistema estrutural de uma peça, pode impor-se uma pós-tensão com cabos de pré-esforço, exterior ou interiormente ao elemento a reforçar (exemplo: eliminação da deformação de uma viga). Existem, ainda, as vantagens de não ser necessário descarregar os elementos a intervencionar e de estes manterem a sua secção (Flores_b, et al., 2008).

A principal dificuldade prende-se com a introdução de compressões elevadas nas zonas de ancoragem ou em elementos adjacentes não reforçados (punçoamento). E há, ainda, que proteger os cabos ao fogo e à corrosão (Flores_b, et al., 2008).

No respeitante a técnicas de reforços globais, temos:

- **adição de paredes resistentes de betão armado *(usado na ESRDLeonor e ESRSIsabel)***

Técnica aplicada numa edificação em toda a sua altura, permite que os elementos resistam à quase totalidade das forças horizontais (Proença, et al., 2011).

Será detalhada mais adiante no texto.

- **contrafortes**

Estes elementos são normalmente utilizados em conjunto com a adição de paredes resistentes, para solucionar insuficiências de uma estrutura à acção de forças horizontais, de modo a incrementar a sua resistência e a sua rigidez. Por vezes é necessário a execução de um novo esquema de fundações, utilizando-se sapatas excêntricas de modo a evitar a escavação sob a construção (Thermou, et al., 2006).

A utilização de contrafortes acarreta normalmente duas questões: a garantia de estabilidade do contraforte e a sua correcta ligação à estrutura existente. Em relação ao primeiro aspecto, tratando-se de sapatas excêntricas e sendo o peso próprio a única força vertical, podem

ocorrer fenómenos de perda de equilíbrio, tanto de derrube, como de deslizamento. Em relação à ligação entre o elemento de reforço e o edifício existente, para que se garanta uma perfeita interacção e continuidade de esforços quando a estrutura é sujeita a acções laterais, o contraforte deve ser ligado às lajes e pilares ao longo de todos os pisos. Essa área de ligação requer atenção especial, uma vez que será submetida a níveis anormais de esforços (Thermou, et al., 2006).

- **introdução de perfis/pórticos metálicos *(usado na ESRDLeonor)***

Pode constituir uma alternativa à adição de paredes, tendo a vantagem de ser potencialmente mais simples de implementar e de não dificultar a existência de aberturas nos paramentos, nomeadamente janelas. Como desvantagem extra, apresenta dificuldades na ligação efectiva às estruturas de piso (Proença, et al., 2011).

A presente técnica também será discutida mais à frente no texto.

As duas técnicas seguintes também podem ser utilizadas na melhoria do comportamento ao efeito do sismo. Embora, não reforcem directamente qualquer elemento da estrutura, promovem uma redistribuição de esforços:

- **criação ou eliminação de ligações internas**

A deficiência de certos elementos prende-se com o facto de estarem rigidamente ligados à estrutura ou a peças muito mais rígidas, sendo necessário introduzir nesses locais juntas estruturais ou rótulas. Pode ainda ser necessário o isolamento de fundações no sentido de se reduzirem as frequências de vibração da estrutura (Flores_b, et al., 2008).

Existe ainda o problema inverso, devido a descontinuidades estruturais, pois o sistema pode ser demasiado flexível, tendo deformações excessivas, tanto sob acções verticais como horizontais (Flores_b, et al., 2008).

Esta técnica é relativamente simples e económica, e permite resolver problemas de errada distribuição interna de esforços e/ou de flexibilidade excessiva. Caracteriza-se, no entanto, por ser limitada para casos mais graves de deficiência estrutural (Flores_b, et al., 2008).

- **introdução de deslocamentos impostos**

Esta técnica será tanto mais eficaz quanto maior for a reserva de resistência global conseguida com a intervenção. A reserva conseguida dependerá da localização escolhida para imposição do deslocamento (Flores_b, et al., 2008).

Normalmente, aplica-se este processo em apoios de pontes ou no recalce de sapatas em edifícios. Caracteriza-se por ser relativamente económico, não permitindo grandes aumentos de capacidade resistente. Existe o risco de se adicionarem esforços localizados indesejáveis (Flores_b, et al., 2008).

2. ADIÇÃO DE NOVAS PAREDES RESISTENTES DE BETÃO ARMADO PARA REFORÇO SÍSMICO

2.1. Características

As paredes poderão ser construídas isoladamente – caso estudo da Escola Secundária Rainha Dona Leonor, em Lisboa –, ou desenvolverem-se nos quadros de pórticos definidos pelos elementos preexistentes, pilares e vigas – caso de estudo da Escola Secundária Rainha Santa Isabel, em Estremoz (Proença, et al., 2011).

Paredes isoladas

A introdução de paredes de betão armado é uma das técnicas de intervenção global mais utilizadas no reforço de estruturas existentes (Figura 80 e Figura 81) – (Thermou, et al., 2006).

Normalmente, este tipo de elementos desenvolve-se em toda a altura de uma edificação, sendo um método bastante eficiente no controlo das forças horizontais, aliviando os esforços nos elementos reticulados preexistentes e regularizando a distribuição em altura dos deslocamentos horizontais (Proença, et al., 2011).

No processo de dimensionamento ao sismo, o projectista deve: distribuir regularmente as paredes em planta e alçados; promover a transferência das forças de inércia às paredes resistentes através dos diafragmas dos pisos, de vigas e de pilares; fomentar uma integração e conexão das paredes com a estrutura existente; e, por último, facilitar a transferência de cargas às fundações (Thermou, et al., 2006).

Figura 80 – Escoramento aquando da construção de parede resistente na ESRDL (tirada em 25-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Figura 81 – Parede resistente na ESRDL (tirada em 25-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

As paredes adicionadas são dimensionadas para resistir ao corte e à flexão de modo a garantir a segurança estrutural quando sujeitas à energia libertada durante o sismo. Estes elementos têm de possuir uma capacidade de deformação, ductilidade e resistência de modo a garantir-se

que não entram em colapso após serem sujeitos a fortes tensões e deslocamentos aquando de um sísmico (Thermou, et al., 2006).

Uma alternativa às técnicas de betonagem *in situ* é o uso de painéis pré-fabricados. Esta técnica deve ser concebida de modo a que as paredes apresentem um comportamento monolítico, e dimensionadas para que as ligações entre os painéis resistam às forças de corte, em especial junto à base das mesma (Thermou, et al., 2006).

Pórticos resistentes executados em betão projectado

A forma mais convencional de introduzir as novas paredes resistentes é preenchendo parcial ou totalmente os vãos existentes, estrategicamente selecionados. Se a parede ocupar toda a largura do vão, incorpora as vigas e os dois pilares, actua como um elemento de contorno. No caso de preencher somente uma parte do vão, estamos perante lâminas de betão armado, que actuam como uma "gaiola" envolvente da edificação. As paredes de reforço podem ser executadas com cofragem (método tradicional), ou através da técnica de betão projectado (Thermou, et al., 2006).

O betão projectado (*gunite* ou *shotcrete*) é um processo contínuo de colocação de betão por projecção – com posologia controlada e máxima dimensão dos agregados compreendida entre 10 a 20mm –, dispensando o uso da maior parte da cofragem. Utiliza-se geralmente uma mistura relativamente seca para que o material apresente alguma coesão, não escorrendo (Flores_a, et al., 2008).

A principal vantagem deste betão é a sua excelente aderência ao substrato, permitindo que a estrutura existente e a de reforço tenham um comportamento monolítico. A força do impacto do jacto de betão contra a superfície, para além de melhorar a aderência do betão à base, ainda auxilia a sua compactação. Portanto, pode constatar-se que este betão apresenta uma elevada compactação e uma baixa relação água/cimento, o que promove o incremento das suas propriedades mecânicas e a sua durabilidade (Flores_a, et al., 2008).

Como pontos menos favoráveis são de destacar o elevado custo desta técnica por ser aplicada recorrendo-se a mão-de-obra especializada, equipamento específico e, devido ao ricochete, apresentar um elevado nível de desperdícios de material (Flores_a, et al., 2008).

De maneira a controlar-se a qualidade do reforço com betão projectado, podem executar-se os seguintes ensaios:

- *ensaio de arrancamento ("pull-off")* – para verificação da ligação, da aderência, entre o novo material de reforço e o betão existente. Efectuam-se carotagens que atravessam o material de reparação, a superfície de contacto e o substrato. Posteriormente, colam-se no topo dos carotes pequenas peça com uma resina epóxida ou outro produto semelhante. Finalmente arrancam-se os carotes com um aparelho que regista a força aplicada;

- *ensaio de resistência à compressão* – podem executar-se carotes retirados directamente dos painéis betonados ou, em alternativa, podem efectuar-se provetes de ensaio, em condições idênticas às do trabalho. Posteriormente, ensaiam-se numa prensa, medindo-se a resistência à compressão do material aos 7 e aos 28 dias de cura;
- *ensaio de resistência à carbonatação* – baseia-se na medição através de uma solução alcoólica de fenolftaleína, da profundidade da frente de carbonatação de provetes, introduzidos numa câmara com elevada concentração de CO_2;
- *ensaio da porosidade por absorção de água* – determina-se a absorção do betão endurecido através do cálculo da diferença entre a massa de um provete de betão endurecido imerso em água e a massa do mesmo provete seco numa câmara estanque (Cóias, 2006).

Reforço de fundações de paredes resistentes com microestacas

Quando se introduz paredes resistentes para reforço estrutural, dependendo do tipo de solo e das cargas presentes, pode também ser necessário adicionar novas fundações ou incrementar a capacidade das existentes. Para este efeito, recorre-se usualmente às microestacas.

Definem-se microestacas como "elementos de elevada esbelteza que fazem parte da estrutura e que transmitem ao solo, fundamentalmente por atrito lateral mas também por ponta, as solicitações que lhe são impostas" (Machado, 2007).

Como se pode constatar na Figura 82, este tipo de fundação indirecta é composto por uma armadura principal, uma armadura secundária – que confere a maior parte da resistência às cargas de projecto –, e uma calda de cimento de selagem e/ou injecção, com o propósito de transferir as cargas ao solo circundante, conferindo elevados valores de resistência lateral e baixos valores de resistência de ponta (Gonçalves, 2010).

As microestacas, sendo um tipo de solução profunda, definem-se como estacas moldadas ou cravadas, de pequeno diâmetro, aproximadamente 0,08 a 0,25m, em contraste com as estacas moldadas convencionais de diâmetros que podem variar entre os 0,40 e os 3,00m. O comprimento usual das microestacas também é mais curto do que as convencionais, situando-se na ordem dos 15,00 a 30,00m. Estes elementos podem ser dimensionados para grandes cargas – superiores a 2000kN –, no entanto, a grande maioria apresentam cargas de serviço de tracção ou compressão de 300 a 1000kN, com diâmetros compreendidos entre os 0,10 e 0,25m (Gonçalves, 2010).

Como é visível na Figura 83, pode reforça-se fundações existentes, nomeadamente sapatas, através da construção de microestacas. Para se conseguir este reforço pode furar-se as sapatas existentes, executando-se as microestacas através destas, selando a furação com calda de cimento. Em alternativa, pode executar-se as microestacas ao lado das sapatas,

alargando-as. Salvaguarda-se que tem de se garantir a continuidade de esforços entre os novos materiais e as armaduras existentes na sapata.

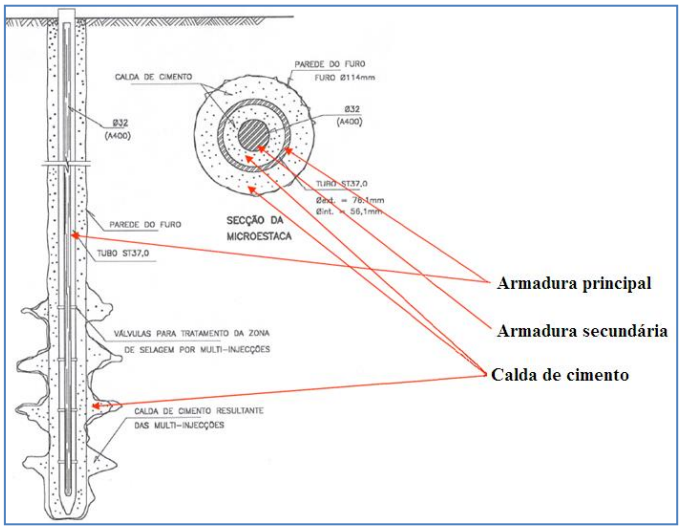


Figura 82 – Esquema de uma microestaca, adaptado de (Machado, 2007)

Figura 83 – Execução de microestaca (tirada em 19-10-2010 na ERSDL) – (fotografia do autor, 2010-11)

2.2. Vantagens

A adição de paredes resistentes de betão armado permite uma melhoria significativa da capacidade resistente dos elementos reforçados, principalmente no comportamento da estrutura às acções horizontais. Podem ser executadas por mão-de-obra menos especializada, exceptuando-se no casos de se usar betão projectado, e permite reduzir drasticamente os esforços nos elementos pré-existentes por transmissão desses aos novos elementos (Flores_b, et al., 2008).

2.3. Desvantagens

As duas grandes desvantagens da adição de paredes resistentes prendem-se: com a integração adequada com a restante estrutura; e com a necessidade de reforço das suas fundações, de modo a garantir-se que resistam ao aumento do momento de derrube – não se encontram sujeitos ao efeito estabilizante do carregamento vertical. Intervenções em fundações são geralmente dispendiosas e bastante disruptivas, tornando-se a aplicação desta técnica inadequada para os edifícios sem um sistema de fundações adequado (Thermou, et al., 2006).

Existe ainda a impossibilidade de manter em serviço a totalidade da estrutura a reforçar, muitas vezes por um período significativo, pois esta solução tem longos períodos de execução. Em alguns casos, o reforço acarreta a criação de efeitos secundários nos elementos não reforçados, e incompatibilidades com o projecto de arquitectura inicial (Flores_b, et al., 2008).

2.4. Aplicações

Como foi evidenciado anteriormente, este método promove a melhoria do comportamento de uma estrutura às acções horizontais, sendo principalmente utilizado no reforço de estruturas às acções sísmicas.

A utilização de fundações em microestacas contribui para a estabilização da parede ao momento de derrube.

2.5. Modo de execução

Demolições

Ao introduzirem-se paredes resistentes em construções existentes, normalmente tem de se proceder a demolições, de modo a compatibilizarem-se os novos elementos de reforço com o sistema antigo (Figura 84).

Antes da demolição de peças estruturais a substituir, devem ser descarregados todos os elementos que nelas apoiam. Deve prever-se um escoramento eficaz de ambos os lados do elemento, de modo a que este resista a todas as acções que solicitavam anteriormente a peça demolida. Deve ainda ser analisada a acção dos escoramentos sobre os elementos adjacentes para evitar que neles ocorra, por exemplo, punçoamento. Quando se procede a demolições devem ser analisados os eventuais efeitos desfavoráveis da eliminação temporária da peça ou peças a substituir, durante e após o processo (Flores_b, et al., 2008).

Figura 84 – Demolições na construção da fundação da parede resistente (tirada em 19-10-2010 na ESRDL) – (fotografia do autor, 2010-11)

Figura 85 – Execução de microestacas (tirada em 19-10-2010 na ESRDL) – (fotografia do autor, 2010-11)

Reforço de fundações

Como definido anteriormente, quando se executam novos elementos de reforço, poderá haver a necessidade da construção ou reforço de fundações. Assim, esse processo pode ser executado da seguinte forma:

a) demolição de elementos não-estruturais, paredes de alvenaria e piso térreo, nas zonas interessadas, identificando-se a estrutura;
b) demolição de elementos estruturais, nomeadamente parte interessada de vigas de fundação e/ou sapatas, com um aproveitamento das armaduras existentes;
c) execução de microestacas (Figura 85), com: marcação ou implantação, perfuração, colocação da armadura, injecção de calda e ligação à estrutura;
d) execução dos novos maciços, de ligações entre os maciços e outras fundações existentes (ex: sapatas, troços de vigas de fundação), e arranque das novas paredes de betão armado (Flor, et al., 2009).

Construção de elementos resistentes

As superfícies de ligação dos materiais pré-existentes com os novos devem ser picadas para criar uma superfície rugosa (Figura 86), posteriormente devem ser sujeitas a um jacto de areia e barradas com uma camada de resina epoxídica, antes de se efectuar a betonagem (Flores_b, et al., 2008).

Caso a superfície não tenha a rugosidade necessária pode ainda criar-se “dentes” na superfície de ligação, utilizar-se chumbadores, varões soldados à armadura existente e à nova, varões roscados ou pré-esforçados ou efectuar-se um empalme da armadura nova na pré-existente (Flores_b, et al., 2008).

É fundamental para que o processo seja bem-sucedido que se controle a retracção do novo betão, podendo tal ser conseguido através de relações água/cimento baixas e adicionando plastificantes. Se necessário pode também utilizar-se cimentos expansivos. As superfícies exteriores dos novos elementos devem ser curadas durante pelo menos 10 dias (Flores_b, et al., 2008).

Os novos elementos de reforço devem ter continuidade ao longo de toda a altura do edifício, devendo prosseguir até às fundações (Figura 87). Assim, em termos de armaduras deve garantir-se a continuidade dos varões verticais dos vários troços entre lajes, podendo ser necessário a execução de furos nas lajes atravessadas pelos varões. Posteriormente injecta-se uma resina epóxida para sanear os orifícios (Flores_b, et al., 2008).

Figura 86 – Superfície rugosa de pilar na ESRSI, adaptado de (Jacinto, 2008-2010)

Figura 87 – Execução de pórticos resistentes em betão projectado na ESRSI (tirada em 13-07-2010) – (Laranjeira, 2008-2010)

Após o reforço de fundações, a construção das paredes resistentes em betão armado pode desenvolver-se da seguinte forma:

a) aplicação de macacos e sistema de escoramento para contra-carga das lajes no piso 1, na zona interessada, que contribuam com carga para as vigas que tenham e ser demolidas;
b) demolição das vigas e troço de laje interessado pelo novo reforço, com aproveitamento das armaduras existentes para posterior ligação à parede;
c) execução dos novos reforços de esforço transverso nas lajes existentes e das ancoragens dos pilares existentes às novas paredes, incluindo a furação e selagem;
d) betonagem das paredes, vigas e troço de laje interessado, com aplicação de produto epoxídico de ligação entre betão velho e betão novo;
e) execução do mesmo processo – da alínea a) a d) – nos pisos elevados seguintes;
f) após 30 dias sobre a última betonagem libertação dos macacos e sistema de escoramento;
g) reparação de eventuais fissuras nos elementos estruturais e nas paredes de alvenaria (Flor, et al., 2009).

3. ADIÇÃO DE PÓRTICOS TRELIÇADOS METÁLICOS PARA REFORÇO SÍSMICO

3.1. Características

Como evidenciado anteriormente, esta técnica corresponde a uma alternativa à adição de paredes resistentes, procurando os mesmos objectivos: incrementar a capacidade resistente global da estrutura ao efeito das forças horizontais, reduzindo e regularizando a distribuição em altura dos deslocamentos horizontais (Proença, et al., 2011).

Figura 88 – Contraventamentos metálicos no edifício do dormitório da Universidade da Califórnia em Berkeley, CA, adaptado de (eduinreview.com)

Se se estiver perante uma insuficiência ao nível dos critérios de dimensionamento sísmico, principalmente devido à falta de elementos verticais ou à irregularidade do sistema estrutural, tem de se proceder à adição de elementos resistentes. A falta de regularidade numa estrutura pode conduzir à concentração excessiva de deformações numa determinada zona (Silva, 2007). De modo a colmatar essas deficiências podem ser construídas paredes resistentes ou proceder-se a um contraventamento com elementos metálicos, como demonstrado no edifício da Figura 88.

Normalmente, para se evitar os constrangimentos arquitectónicos, o contraventamento é colocado nas fachadas exteriores, embora não seja uma regra inflexível (Perestrelo, 2010).

Podem considerar-se os seguintes tipos de contraventamento metálico (Figura 89):

- contraventamento de apenas uma diagonal por vão;
- contraventamento em X, onde os contraventamentos na diagonal em todo o vão se cruzam;
- contraventamento em K, onde ambos os contraventamentos inclinados são ligados a um ponto na altura livre do pilar. Este tipo de contraventamento não é o mais apropriado para ser utilizado, visto que o desequilíbrio de forças na altura livre do pilar pode provocar o colapso do mesmo;
- contraventamento em V (invertido), onde um par de contraventamentos inclinados é ligado a um ponto próximo ou no centro do vão (Perestrelo, 2010).

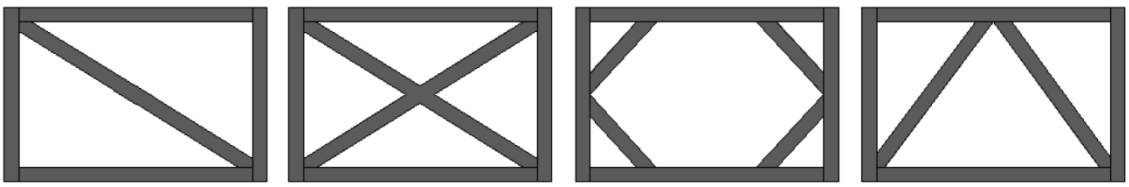


Figura 89 – Contraventamentos de uma diagonal, em X, em K e em V, adaptado de (Perestrelo, 2010)

Um melhoramento ao sistema simples de contraventamento apresentado é o uso de invólucros tubulares, de maior secção, colocadas em volta de um núcleo metálico, sendo o espaço remanescente preenchido com betão. Assim, o elemento adquire resistência à compressão, evitando encurvadura do núcleo metálico, o que promove um aumento significativo da capacidade resistente às acções horizontais (Thermou, et al., 2006).

3.2. Vantagens

A introdução de contraventamentos metálicos é uma técnica de relativamente rápida execução e muito eficaz no reforço global de edifícios. Este método tem as vantagens de não condicionar a abertura de vãos nas fachadas e de minimizar o peso adicionado à estrutura aquando do reforço. Se implementado pelo exterior, tem pouca interferência com os ocupantes de um edifício, bem como com os seus usos e funcionalidades (Thermou, et al., 2006).

Em relação à adição de paredes em betão armado é uma intervenção potencialmente mais simples e facilita a existência de aberturas nos paramentos, permitindo uma melhor controlo da qualidade, uma vez que se trata de uma solução pré-fabricada (Proença, et al., 2011).

3.3. Desvantagens

As desvantagens da aplicação deste método são semelhantes às da adição de paredes de betão armado – necessidade de criação ou reforço de fundação; e interacção inadequada com a restante estrutura, podendo haver dificuldades na ligação efectiva entre os elementos existentes e os novos elementos metálicos (Proença, et al., 2011) e (Dimande, 2011).

3.4. Aplicação

Este método possui praticamente a mesma aplicação que a introdução de paredes de betão armado, uma vez que promove a melhoria do comportamento do sistema às acções horizontais, sendo principalmente utilizado no reforço de estruturas às acções sísmicas.

3.5. Modo de execução

As estruturas metálicas a aplicar, bem como as suas partes constituintes, têm de ser fabricadas, posteriormente transportadas para a obra e, por fim, montadas no local de aplicação.

Fabrico

Na execução de peças metálicas devem ser controladas as características das matérias-primas, as ligações aparafusadas, as soldaduras e a geometria dos elementos (Bastos, 2008).

As ligações aparafusadas podem ser simples ou pré-esforçadas, devendo ser dimensionadas de modo a assegurar a continuidade de resistência entre as peças a ligar (Bastos, 2008).

As superfícies destinadas a receber soldadura devem encontrar-se secas e bem limpas, isentas de corpos estranhos, ferrugem, escórias, pintura ou gorduras. Deve evitar-se a aplicação excessiva de soldadura num mesmo local, bem como variações bruscas de secção, nomeadamente em elementos soldados em toda a periferia. Não se deve arrefecer rapidamente uma soldadura – a descida da temperatura tem de ser gradual e lenta. Para se controlar a qualidade das soldaduras deve trabalhar-se com pessoal qualificado e inspecionar-se visualmente as peças, executando-se testes se oportuno (Bastos, 2008).

Após a conclusão do fabrico será aplicado nas peças metálicas – chapas, perfis, parafusos, porcas, anilhas – um tratamento de protecção anticorrosivo. Podem-se, por exemplo, galvanizar os elementos a quente ou protegê-los com um primário epoxídico, uma protecção anti-fogo e uma pintura (Bastos, 2008).

O controlo final da geometria das estruturas, principais e secundárias, deve ser executado após a pré-montagem de cada conjunto e antes da sua decomposição em peças para transporte (Bastos, 2008).

Transporte

Na definição da partição das estruturas tem que se considerar as restrições existentes nos acessos e no local da montagem (Bastos, 2008).

Montagem

Deve definir-se um plano de montagem, de modo a que se considere os condicionamentos locais de acesso e circulação de veículos pesados, tendo em conta o estado do pavimento no período em que decorrem os trabalhos, bem como todas as ferramentas, equipamentos de elevação, construções auxiliares e contraventamentos provisórios necessários à montagem. As peças devem ainda ser convenientemente marcadas em oficina para que, na montagem, não haja qualquer dúvida quanto à sua posição (Bastos, 2008).

A elevação e movimentação dos elementos metálicos devem ser feitas por processos que não ponham em causa a sua segurança, nem lhes cause deformações não reversíveis. As peças a ligar devem ser cuidadosamente posicionadas, recorrendo-se a dispositivos de posicionamento que as mantenham nas posições correctas, sem lhes introduzir esforços secundários e que permitam a realização das ligações. Os escoramentos para suporte provisório devem ter um dispositivo regulador de altura que permita a transferência gradual e controlada das cargas para a estrutura após a montagem (Bastos, 2008).

Na colocação de chumbadouros tomam-se as necessárias precauções para que o seu posicionamento não seja modificado no decurso da betonagem. Deve ainda ser feita uma ligação eléctrica da estrutura metálica à terra (Bastos, 2008).

Durante o processo de fabrico e de montagem dos elementos têm de ser tomadas as precauções necessárias para que, no final, existam as contra-flechas previstas no projecto (Bastos, 2008).

Reforço de fundações

Como definido anteriormente, quando se introduzem novos elementos de reforço estrutural pode haver a necessidade de reforçar ou adicionar fundações. Assim, quando é utilizada a técnica de introdução de pórticos metálicos, o procedimento é idêntico ao efectuado na adição de paredes resistentes.

4. REFORÇO À FLEXÃO DE LAJE DE VIGOTAS COM LAMINADOS DE CARBONO

4.1. Características

Os polímeros reforçados com fibras sintéticas de grande resistência, designados por produtos compósitos avançados, são relativamente recentes e têm sido usados em diversas aplicações industriais, revelando-se de grande interesse nas intervenções de reabilitação estrutural. São constituídos por um material de elevada resistência, sob a forma de fibras, envolvidas e ligadas por uma matriz polimérica (suporte). As fibras têm o objectivo principal de aumentar a tenacidade, a resistência ao impacto, enquanto a matriz polimérica funciona como suporte das fibras, serve para absorve as deformações, para conferir resistência quando o material é comprimido. As matrizes mais utilizadas são as termoendurecíveis (resinas de epóxido, resinas fenólicas) e as termoplásticas (polietileno, polipropileno, policarbonatos) – (Cóias, 2007).

Os laminados de carbono apresentam resistências à tracção 5 a 10 vezes superiores às do aço e são, em média, aproximadamente 4 a 5 vezes mais leves, possibilitando um conjunto de novas técnicas de reforço estrutural “secas” (isto é, sem recurso ao cimento de Portland e ao betão), pouco invasivas e reversíveis (Cóias, 2007).

Os reforços com fibras de carbono (CFRP – *Carbon Fiber Reinforced Polymer*), apresentam-se usualmente de duas formas: em laminados de fibra de carbono unidirecionais (Figura 90), colados com um adesivo de resina *epoxy*, visível na Figura 91; ou em mantas de fibras contínuas e multidireccionais, endurecidas *in situ*, aglutinadas e coladas com uma matriz *epoxy*. Existem ainda varões e cordões/cabos de CFRP (Flores_b, et al., 2008).

Figura 90 – Laminados de carbono (Oliveira, 2007)

Figura 91 – Laminado de carbono com a resina epoxídica (Oliveira, 2007)

4.2. Vantagens

A vantagem das fibras de carbono relativamente a outras fibras resulta das suas propriedades mecânicas, em particular do módulo de elasticidade à tracção, que é muito elevado. O produto de base destas fibras é o fio contínuo de carbono (Cóias, 2007).

Os compósitos FRP têm a vantagem de apresentar valores de resistência e rigidez muito elevados para uma baixa massa volúmica, não introduzindo cargas adicionais na estrutura, nem aumentando a geometria dos elementos a reforçar (Oliveira, 2007).

O material laminado não é corrosível, tem características de resistência à alcalinidade e apresenta uma elevada resistência mecânica – podendo atingir os 3000 MPa de tensão média de resistência à tracção no sentido longitudinal das fibras, dependendo da resina utilizada na impregnação (aço usado normalmente nas vigas ou lajes situa-se na ordem dos 400/500 MPa). Possui uma elevada durabilidade e um bom comportamento relativamente à fadiga. É de fácil transporte e aplicação, não sendo necessário para o efeito equipamento pesado, o que torna a solução relativamente económica. Apresenta uma massa volúmica baixa – aproximadamente 1,60 kg/dm^3, enquanto o aço 7,90 kg/dm^3 e o betão 2,50 kg/dm^3 –, e uma espessura reduzida (1,00 a 3,00mm), que permite ser revestida. Poder-se-á efectuar diferentes combinações de resistência e módulos de elasticidade, dependendo do produto escolhido (Sika Portugal, S.A., 2011).

4.3. Desvantagens

Segundo Victor Cóias (2007), a principal desvantagem deste material é ainda o seu elevado custo. Por outro lado, a sua aplicação exige uma mão-de-obra qualificada e experiente, devendo o trabalho ser fiscalizado e monitorizado por entidades independentes (Cóias, 2007) e (Flores_b, et al., 2008).

Estes compósitos somente funcionam à tracção, apresentando o inconveniente, no caso de laminados, de apenas funcionarem numa direcção, contrariamente às mantas/tecidos que podem ser bi ou multidireccionais. Estes compósitos evidenciam ainda um comportamento frágil – não têm reserva plástica de deformação (Flores_b, et al., 2008).

A manutenção da ligação betão/resina/fibras é de importância fundamental, pois de outra forma põe-se em causa toda a solução de reforço (Flores_b, *et al*., 2008). O betão deve apresentar boa qualidade, uma vez que o modo de rotura considerado no dimensionamento é o arranque do laminado e de uma lâmina de betão na peça estrutural, desenvolvendo-se uma fenda horizontal na proximidade da superfície de contacto (Oliveira, 2007). Tem de se ter especial cuidado para que não haja a perda de aderência nas zonas de amarração.

Uma vez que os laminados de carbono apresentam reduzida resistência aos raios UV (ultravioletas) e ao fogo, devem ser protegidos de modo a salvaguardar a solução estrutural. Pelo mesmo motivo deve ainda considerar-se uma protecção mecânica contra possíveis actos de vandalismo (Flores_b, et al., 2008).

4.4. Aplicações

As situações mais usuais de utilização desta tecnologia pouco intrusiva prendem-se com insuficiências de resistência devido a erros de concepção e/ou construção, com necessidades de incremento da capacidade resistente devido ao aumento de cargas e com modificações estruturais em consequência de alterações arquitectónicas (Oliveira, 2007).

Os laminados de fibra de carbono são concebidos para reforçar estruturas em betão, madeira ou alvenaria. A utilização destes elementos incrementa a capacidade de carga das estruturas, por exemplo, no caso de se pretender efectuar uma mudança de usos, uma alteração das cargas presentes ou para estabilizar estruturas com vibrações. Podem ainda ser empregues na correcção de danos em elementos estruturais – degradação de materiais, corrosão de armaduras, impacto de veículos, incêndios, sismos – ou no melhoramento do comportamento das estruturas ou do sistema estrutural – redução de deformações, diminuição de tensão nas armaduras, redução da largura das fissuras. Estes laminados são considerados como um reforço exterior, pois podem ser colados à estrutura através do uso da uma cola epoxídica (Sika Portugal, S.A., 2011).

Figura 92 – Reforço do tabuleiro de uma ponte com CFRP (Gamino, 2007)

Figura 93 – Reforço de uma laje com FRP (Gamino, 2007)

Os materiais compósitos podem ser aplicados na reabilitação de edifícios segundo duas modalidades distintas – a constituição no próprio local de aplicação, técnica de colagem externa de mantas ou faixas de laminado (EBR – *Externally Bonded Reinforcement*), e a fixação ou selagem em furos ou ranhuras, sob a forma de varões ou perfis laminados (NSM – *Near-Surface Mounted*).

Na primeira modalidade, o compósito é executado através da impregnação do tecido ou das folhas unidireccionais de fibra com a resina, directamente sobre a superfície do elemento a reforçar, como mostra a Figura 92. Este tipo de aplicação é relativamente económica, se se tiver em conta os elevados rendimentos que é possível conseguir. Os reforços são geralmente constituídos por faixas de compósito (Figura 93), funcionando como "armaduras" exteriores. Nestes casos, é necessário pormenorizar com muito cuidado as amarrações, os cantos e os atravessamentos (Cóias, 2007).

Nos casos em que se utiliza a fixação de perfis de material compósito, estes são pultrudidos (varões ou laminados), sendo fixados em furos ou ranhuras por meio de selagem, como demonstrado na Figura 94 e na Figura 95. É assim possível reparar lesões ou aumentar a resistência de elementos estruturais à tracção ou à flexão (Cóias, 2007).

Usualmente, os laminados são colados à superfície do betão recorrendo-se a resinas epoxídicas, aplicados na face inferior ou superior de lajes ou vigas para aumento da capacidade de carga, e o encamisamento de pilares (secção circular) para aumento da resistência à compressão por efeito de confinamento (Oliveira, 2007).

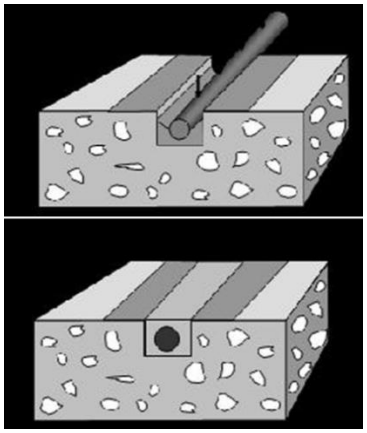


Figura 94 – Esquema da colocação e selagem de varões de material compósito (VSTRUCTURAL, LLC, 2012)

Figura 95 – Selagem de ranhuras após colocação do material compósito (VSTRUCTURAL, LLC, 2012)

4.5. Modo de execução

Esta solução compreende o fabrico dos laminados de carbono em fábrica especializada, sendo posteriormente transportado para a obra, onde se executa a solução de reforço nas estruturas de betão armado, ligando os laminados ao betão através de uma resina epoxídica.

Fabrico de laminados

O fabrico de laminados compósitos comporta geralmente 3 fases. A primeira consiste na obtenção do chamado pré-impregnado, que é uma banda formada por feixes paralelos de fibras embebidos por alguma resina. A resina fica parcialmente curada, o suficiente para garantir a consistência e manuseabilidade necessárias, mas sem prejudicar a posterior consolidação. O tempo de vida útil para efeitos de armazenagem é assegurado por inibidores da cura. Numa segunda fase cortam-se do pré-impregnado as camadas que vão constituir o laminado, sendo para tal empilhadas num molde adequado. Finalmente procede-se à conformação e consolidação (Balacó de Morais, 1997).

Um ciclo típico para pré-impregnados de resinas termoendurecíveis, normalmente tem a duração de cerca de 5 horas e pressupõe as seguintes fases:

- Aplicação de vácuo e aumento da temperatura;
- Estágio a uma temperatura intermédia para permitir o fluxo de resina, ainda muito pouco curada;
- Aplicação de pressão e aumento da temperatura até valores finais máximos, que são mantidos durante 2 a 3 horas;
- Arrefecimento até à temperatura ambiente sendo mantida alguma pressão (Balacó de Morais, 1997).

O empilhamento é colocado no molde, separado deste por um filme desmoldante não poroso. Por cima colocam-se sucessivamente um filme desmoldante poroso, uma camada para absorção de resina e um tecido homogeneizador de vácuo. Ao redor dos bordos colocam-se barreiras para impedir o fluxo lateral de resina. O conjunto é envolto numa membrana, dentro da qual é aplicado o vácuo. Os ciclos de vácuo, temperatura e pressão são escolhidos e controlados de maneira a proporcionar a qualidade desejada em termos de níveis de porosidade, teor de resina ou espessura (Balacó de Morais, 1997).

Por último, a moldação por autoclave é o processo que garante a qualidade, possibilitando o fabrico de peças de grandes dimensões e de forma complexa. O autoclave é basicamente um reservatório cilíndrico onde se podem gerar pressões, proporcionando o aquecimento da peça devido à circulação de gás no interior do cilindro. Um conjunto de materiais auxiliares permite a remoção de voláteis e vazios, bem como a obtenção do teor de resina desejado (Balacó de Morais, 1997).

Solução de reforço de estruturas de betão armado

Para a aplicação do reforço com laminados de carbono, tem de se garantir que a base a reforçar se encontra nivelada e com irregularidades máximas na ordem dos 0,50mm. A resistência da base (betão, alvenaria de blocos ou pedra natural) deve ser sempre verificada, assim com a resistência média à tracção da cola. As bases de betão ou alvenaria de blocos devem apresentar-se sãs, secas, limpas e sem leitanças, gelo, água estagnada, gordura, óleos, tratamentos de superfície, revestimentos antigos e partículas soltas, com uma textura suficientemente rugosa. No caso de se aplicar sobre madeira, esta deve ser preparada através de aplainamento, lixagem ou polimento, sendo o pó aspirado no final da operação. Deve ainda evitar-se a condensação de água nas superfícies (Sika Portugal, S.A., 2011).

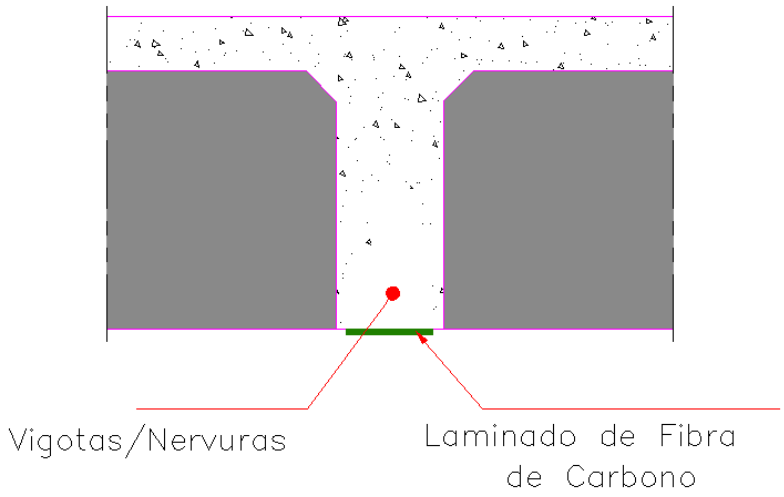


Figura 96 – Reforço de vigotas com laminados de carbono, adaptado de (Monteiro, *et al*., 2009)

O reforço de vigotas à flexão recorrendo-se a laminados de carbono (Figura 96) é composto por: um primário, uma argamassa de regularização, quando necessária, uma argamassa de colagem e o laminado de carbono.

Antes do uso desta técnica podem ser necessários executar alguns dos seguintes trabalhos prévios:

- reparação do betão deteriorado – remoção do betão degradado; tratamento de armaduras (e eventual reforço das mesmas); reposição de secções em betão com argamassas de reparação ou microbetão;
- reparação de fissuras – selagem e injecção de fissuras com resinas epóxi;
- preparação dos cantos e arestas – arredondamento dos cantos até um raio mínimo de 10,00mm;

- preparação da superfície – remoção de poeira, sujidade, leitadas ou outros materiais que possam prejudicar a aderência;
- inspecção da superfície e condições ambientais – inspeccionar as condições da superfície; verificar as condições ambientais, não se devendo prosseguir com a aplicação se se verificarem temperaturas inferiores a 5.ºC, poros da superfície cheios de água ou zonas potenciais de fugas de água (Flores_b, et al., 2008).

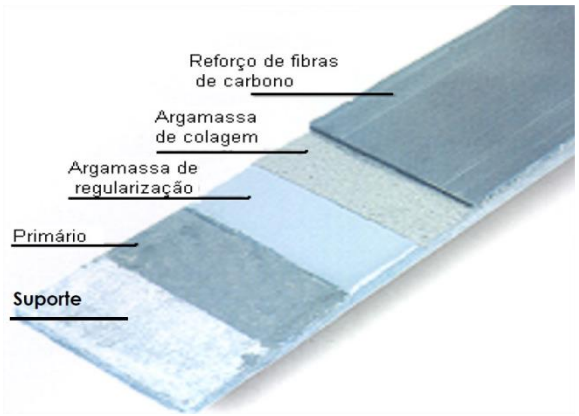


Figura 97 – Sistema de reforço com laminados de carbono (Flores_b, *et al*., 2008)

Após a finalização dos processos anteriores, executam-se os seguintes passos, de acordo com o esquematizado na Figura 97:

1.º – decapagem da face inferior das vigotas;
2.º – aplicação de um primário para preenchimento dos poros da superfície de betão, com um rolo;
3.º – aplicação de argamassa de regularização (eventual);
4.º – limpeza da superfície de colagem do laminado com um diluente sintético para eliminação de contaminantes;
5.º – aplicação do adesivo epóxido sobre o laminado, que fora previamente colocado num molde, de forma a facilitar o doseamento de material (Figura 98);

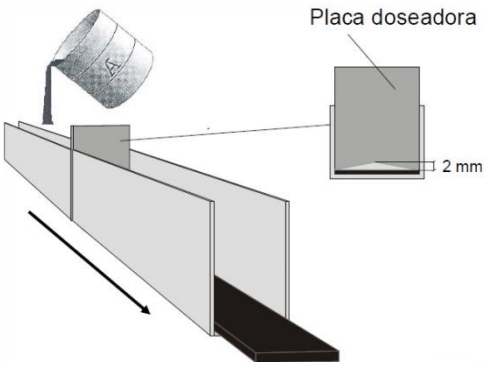


Figura 98 – Aplicação do adesivo epóxido no laminado de carbono (Flores_b, *et al*., 2008)

6.º – aplicação e ajuste do laminado, manualmente, na base da vigota. Posteriormente, aplica-se uma pressão recorrendo-se a um rolo rígido de borracha, removendo-se o excesso de adesivo com uma espátula (Flores_b, et al., 2008).

Para finalizar, pode acrescentar-se que esta técnica deve ser executada, em todas as suas fases, desde a concepção à execução e controlo de qualidade, por técnicos e empresas qualificadas, com competências adquiridas na área. Uma aplicação deficiente de laminados pode provocar danos irreversíveis numa estrutura sujeita às cargas de projecto, pois este material apresenta um comportamento relativamente frágil. O carbono é um material frágil por comparação com o aço, podendo a estrutura perder um pouco de ductilidade, logo capacidade de dissipação de energia, factor com alguma importância em reforços à acção sísmica (Oliveira, 2007).

Salienta-se ainda que não se deve descorar a protecção dos trabalhadores, nem a limpeza imediata das ferramentas após utilização de adesivos (Flores_b, et al., 2008).

Após aplicação do método, pode desenvolver-se uma série ensaios de controlo da sua qualidade. Executa-se um teste acústico (ensaio de ultra-sons), após 24 horas de cura, de modo a verificar a não existência de vazios ou delaminações, podendo ainda fazer-se um teste de aderência, através de um ensaio de arranque directo – *"pull-off"*.

CAPITULO V – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como anteriormente mencionado, este estudo está dividido em três partes intrinsecamente ligadas: numa descrição do projecto de modernização de escolas secundária desenvolvido pela Parque Escolar, no estudo de exemplos prático de aplicação desse projecto em duas escolas industriais e, por último, na descrição mais pormenorizada de algumas técnicas de reforço estrutural aplicadas nesses mesmos exemplos.

Projecto de modernização Parque Escolar

O plano em estudo arrancou com três objectivos principais: requalificar as infraestruturas escolares, aumentando a qualidade das instalações, muitas delas fortemente deterioradas; abrir a escola à comunidade, de modo a rentabilizar o uso dos equipamentos escolares, nomeadamente, os campos desportivos e as salas ou auditórios; e garantir a manutenção e gestão dos edifícios para manter o grau de qualidade, não deixando deteriorar os equipamentos.

Os inúmeros projectos das escolas foram desenvolvidos em estreita parceria entre a Parque Escolar e os conselhos executivos, contando ainda com um acompanhamento após o final das obras, na fase de gestão de garantias. As empreitadas decorreram com as escolas em funcionamento, havendo a necessidade de aluguer de espaços exteriores e/ou contentores, durante o período de duração das mesmas.

Uma das principais marcas deste programa foram os grandes melhoramentos que se registaram em termos de habitabilidade nas construções, principalmente, em termos acústicos e térmicos. Em relação aos sistemas AVAC, há que evidenciar que, na maioria dos casos, houve um sobredimensionamento dos equipamentos, incrementando-se fortemente os custos de toda a construção dos edifícios. Em termos funcionais, este programa teve como referências a construção de modernos laboratórios para as ciências experimentais e informática, de salas polivalentes ou auditórios, de campos de jogos cobertos e, de espaços para aplicação de um conceito de aprendizagem informal – *Learning Street*.

O PMEES foi um programa de intervenção num conjunto alargado de edifícios distribuídos ao longo do território nacional, o que possibilitou a analisar de um número importante de edifícios de características semelhantes, tornando mais “rentável” o investimento na optimização das soluções de intervenção. Denotou-se a preocupação de se adoptar políticas de controlo da vulnerabilidade sísmica dos edifícios escolares.

Intervenções em duas escolas industriais

As escolas industriais e comerciais surgiram como resposta às necessidades de crescimento económico de Portugal, na década de 30 do século passado, sendo da responsabilidade da JCETS (Junta das Construções para o Ensino Técnico e Secundário), entidade sob alçada do Ministério das Obras Públicas. Os estabelecimentos foram construídos de acordo com normas preconizadas em “projectos-tipo”, adaptadas consoante as disponibilidades e orientações dos

lotes, apresentando três blocos principais – corpo principal, corpo de educação-física e oficinas.

Os edifícios em estudo, seguem aproximadamente o *1.º Projecto Normalizado*, elaborado pela JCETS em 1960, coordenado pelo Arquitecto Augusto Brandão, que preconizava estruturalmente um sistema idealizado para acções sísmicas, com pórticos longitudinais, de fachada e de corredor, e subestruturas de contraventamento (pórticos, diagonais ou lanços de escadas), dispostas transversalmente nas empenas e alinhamentos de juntas.

Concluiu-se que o Liceu Rainha Dona Leonor tratou-se de uma espécie de protótipo do *1.º Projecto Normalizado* referido anteriormente.

A intervenção na Escola Secundária Rainha Dona Leonor, em Alvalade (Lisboa), caracterizou-se pela diminuta área existente no lote para implantação da solução preconizada pela Parque Escolar. Esta questão foi solucionada de duas formas: através da escavação de um talude, aplicando-se uma solução de contenção de terras tipo Muros de Berlim, para a implantação do edifício novo; e construindo-se o campo de jogos descoberto sobre o campo coberto, minimizando a área de implantação através de construções sobrepostas.

Em termos de reforço estrutural, no edifício principal, introduziram-se novas paredes resistentes em betão armado, fundadas em sapatas reforçadas com microestacas. No ginásio, optou-se por um reforço da rigidez longitudinal através de uma solução de três pórticos metálicos treliçados verticais, de modo a incrementar a resistência a cargas horizontais. Os referidos pórticos metálicos foram prolongados à cobertura, melhorando o seu comportamento de diafragma, compatibilizando os esforços da cobertura com a restante estrutura.

Na Escola Secundária Rainha Santa Isabel, em Estremoz, foi mantido o corpo principal, integrando-se nele uma construção nova para albergar os laboratórios de ciências experimentais e sala de convívio. Na empreitada, demoliram-se pequenos corpos isolados e reformularam-se as antigas oficinas, anexando uma parte destas à construção nova referida. Na execução do campo de jogos coberto – cobertura metálica autoportante –, foi necessário a escavação do terreno para rebaixamento da cota de soleira.

No que diz respeito a reforços estruturais, foi mantido o sistema original de pilares e vigas, reforçando-o com a introdução de novos pórticos resistentes, em betão projectado, pelo exterior, utilizando as fundações existentes. Salienta-se a execução de aferrolhamento com varões de aço, em zonas mais esforçadas, nomeadamente junto às fundações, para garantir a boa aderência entre o betão novo e o existente. Esta solução de reforço pelo exterior permite ainda a passagem das novas tubagens através das fachadas, tendo a vantagem de efectuar os trabalhos de reforço em simultâneo com os do interior do edifício, reduzindo os prazos de execução. Reforçou-se ainda uma laje aligeirada, constituída por vigotas e abobadilhas, recorrendo-se a materiais compósitos – laminados de fibra de carbono. A laje apresenta flecha

excessiva, devido a degradação dos materiais com o tempo e por infiltrações de água através da cobertura.

Técnicas de reforço estrutural

Quando se pretende reforçar uma estrutura à acção do sismo, pode recorrer-se a técnicas de carácter global, que influenciam o comportamento de toda a estrutura, ou pode somente reforçar-se alguns elementos deficitários em termos de resistência, i.e. reforço local.

As principais técnicas são: adição de elementos resistentes, em betão armado ou em elementos metálicos – aumenta a capacidade de resistência a forças horizontais; criação ou eliminação de ligações internas – permite resolver problemas de errada distribuição de esforços, tornando a estrutura mais ou menos flexível, de acordo com o pretendido em cada caso. Quando se pretende incrementar a capacidade de determinados elementos utilizam-se técnicas de âmbito local, como por exemplo: encamisamento de secções com betão armado ou com materiais compósitos; ou colagem de chapas metálicas. Quando se quer corrigir o comportamento em serviço de flecha excessiva ou reforçar o elemento, pode aplicar-se um pré-esforço exterior. Denotar que, mesmo para técnicas locais, o comportamento da estrutura tem sempre de ser analisado no geral.

A adição de paredes resistentes em betão armado é um método eficiente no controlo das forças horizontais, permitindo a redução de esforços nos elementos existentes. Podem ser executadas recorrendo-se a paredes isoladas ou através de pórticos em betão projectado. Estes pórticos podem dispensar o uso de cofragem, apresentam maior velocidade de execução, e garantem uma melhor aderência do novo betão ao substrato existente, evidenciando um comportamento monolítico. Normalmente, com a introdução de paredes, tem de se reforçar ou mesmo criar novas fundações. O seu reforço pode ser conseguido através de microestacas, que se caracterizam por apresentar uma grande capacidade de carga e pequena dimensão. Este tipo de fundações indirectas, que apresenta resistência à tracção, é determinante para que a parede resista ao derrube, uma vez que esta praticamente não está sujeita ao efeito estabilizante do carregamento vertical.

A adição de pórticos metálicos de reforço sísmico é uma técnica idêntica à anterior, apresentando a vantagem de ser de mais rápida execução, não condicionar a abertura de vãos nas fachadas e minimizar o peso introduzido na estrutura. Apresenta sérias dificuldades de ligação efectiva com os vários pisos.

Ambas as técnicas anteriores só podem ser aplicadas se as lajes dos edifícios tiverem rigidez suficiente para se considerarem, nos modelos de cálculo, como indeformáveis.

Por último, o reforço de vigotas com laminados de carbono em lajes aligeiradas é uma técnica usada para incrementar a capacidade de carga das estruturas. O material compósito é relativamente recente, resiste essencialmente à tracção, e apresenta uma muito elevada

resistência, para uma baixa massa volúmica. Nesta técnica, tem de se garantir uma boa ligação entre os três materiais – o compósito, a resina epoxídica e o substrato existente –, especialmente nas extremidades.

BIBLIOGRAFIA

ABRANTES, Ana (2008). *Fotografias tiradas na Escola Secundária da Rainha Santa Isabel.* Estremoz.

AKIYAMA, Hiroshi (2002). *Collapse modes of structures under strong motions of earthquake.* Annals of geophysics - Volume 45 n.º 6.

APPLETON, Júlio e GOMES, Augusto (1997). *Reforço de estruturas de betão armado por adição de armaduras exteriores*. Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas (RPEE), Nº. 41. Janeiro de 1997.

BALACÓ DE MORAIS, Alfredo (1997). *Estudo do comportamento à compressão de materiais compósitos*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.

BASTOS, Francisco T. (2008). *Projecto de Arquitectura para a modernização da Escola Secundária Rainha Dona Leonor* . Lisboa.

CARVALHO, E. C. (2009). *A regulamentação sísmica.* LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, Julho de 2009.

CÊRA, Joana M. G. (2010). *Re-habitar o Palácio Riberia - Estudo do Habitar Setecentista Aplicado a Novos Usos: Arquitectura Doméstica Temporária. Dissertação de Mestrado.* Faculdade de Arquitectura - Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.

CÓIAS, Vitor (2006). *Inspecção e ensaios na reabilitação de edifícios*. IST Press. Lisboa.

CÓIAS, Vitor (2007). *Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos - Alvenaria/Madeira, Técnicas Pouco Intrusivas*. Argumentum e GECoRPA. Lisboa.

CORREIA, Fernanda P. D. M. (2011). *Recolha de dados em entrevista a membro da Direcção Executiva*. Estremoz, 14 de Março de 2011.

COSTA, João G. F. (1945). *Plano de urbanização da zona a Sul da Av. Alferes Malheiro.* [Em linha]. Disponível em *http://doportoenaoso.blogspot.com*, consultado a 07 de Agosto de 2011.

CSOPT - Conselho Superior de Obras Públicas e Transportes (2007). *Regulamento Geral de Edificações - Projecto de Decreto-Lei (Versão Definitiva Janeiro de 2007).* Subcomissão para a revisão do RGEU - Portaria n.º 62/2003 de 16 de Janeiro. Despacho n.º 5493/2003 de 27 de Fevereiro. Lisboa.

D.R. - Diário da República (2007). *Decreto-Lei n.º 41/2007 de 21 de Fevereiro*. Publicado no Diário da República, 1.ª série - n.º 37.

DIMANDE, Américo O. (2011). *Técnicas de Reforço de Estruturas de Betão - Excerto Adaptado*. Julho de 2011. [Em linha]. Disponível em *http://www.engenhariacivil.com/*, consultado a 24 de Setembro de 2012.

EDUINREVIEW. *University of California Dormitory, Berkeley, California.* [Em linha]. Disponível em *http://www.eduinreview.com/*, consultado a 24 de Setembro de 2012.

ESRDLeonor - Escola Secundária Rainha Dona Leonor. Sítio oficial - Informação de 19 Abril de 2010. [Em linha]. Disponível em *http://www.escolarainhadleonor.eu*, consultado a 12 de Fevereiro de 2011.

ESRDLeonor - Escola Secundária Rainha Dona Leonor. Sítio oficial. [Em linha]. Disponível em *http://www.escolarainhadleonor.eu*, consultado a 28 de Setembro de 2012.

FIGUEIREDO, Marco F.R.C. (2008). *Reforço Sísmico por dissipação passiva de viadutos de betão armado. Dissertação de Mestrado.* Instituto Superior Técnico. Lisboa.

FLOR, Djamila, *RODRIGUES, Fernando, SÁ, Maria P., PASADAS, Rita e ESTEVES, Nuno* (2009). *Modernização da Escola Secundária/EB3 Rainha D.Leonor - Fundações e estrutura (Projecto de Execução)*. ARA - Alves Rodrigues & Associado, Lda. Lisboa.

FLORES, Inês, PLANTIER, Manuel, PEDRO, Paulo, BRITO, Jorge e CORREIA, João (2008-a). *Técnicas de reparação de estruturas de betão - Documentos de apoio à cadeira de PRC (Patologia e Reabilitação da Construção).* Departamento de Engenharia Civil - Instituto Superior Técnico. Lisboa.

FLORES, Inês, PLANTIER, Manuel, PEDRO, Paulo, BRITO, Jorge e CORREIA, João (2008-b). *Técnicas de reforço de estruturas de betão - Documento de apoio à cadeira de PRC (Patologia e Reabilitação da Construção).* Departamento de Engenharia Civil - Instituto Superior Técnico. Lisboa.

GAMINO, André L. (2007). *Modelagem fisica e computacional de estruturas de concreto reforçadas com CFRP.* Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

GONÇALVES, João F. C. (2010). *Influência da esbelteza no comportamento de microestacas. Dissertação de Mestrado.* Deparatmento de Engenharia Civil. Istituto Superior Técnico. Lisboa .

GOOGLE MAPS (2009). Sítio oficial - Informação de Maio de 2009. [Em linha]. Disponível em *http://maps.google.com/*, consultado a 23 de Fevereiro de 2011.

GUERREIRO, Luís M.C. (2004). *Isolamento de base.* Mestrado de Engenharia de Estruturas - Dinâmica e Engenharia Sísmica. Departamento de Engenharia Civil - Instituto Superior Técnico. Lisboa.

HEITOR, Teresa V. (2008). *Modernising Portugal's Secondary Schools*. PEB Exchange, Programme on Educational Building. OECD Publishing.

JACINTO, Bruno. (2008-2010). *Fotografias tiradas na Escola Secundária da Rainha Santa Isabel*. Estremoz.

JUVANDES, Luís, MARQUES, António T. e FIGUEIRAS, Joaquim, A. (1996). *Materiais Compósitos no Reforço de Estruturas de Betão - Partes I.* Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto.

LARANJEIRA, José (2008). *Projecto de Arquitectura - Remodelação e ampliação da Escola Secundária Rainha Santa Isabel de Estremoz.* Oficina Ideias em linha – Arquitectura e Design, Lda.. Montijo.

LARANJEIRA, José (2008-2010). *Fotografias tiradas na Escola Secundária da Rainha Santa Isabel.* Estremoz.

LUNA, Carlos, BASTARDO, António e PEREIRA, Domingos (1986). *História da escola secundária de Estremoz/Ensaio sobre a história do ensino na cidade.* Estremoz.

MACHADO, Rui (2007). *Micro-estacas.* Tecnologia da Construção de Edifícios. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico. Lisboa.

MONTEIRO, Eduardo e DUARTE, Rui A. (2009). *Projecto de Escola Sec. Rainha Santa Isabel de Estremoz - Fundações e Estrutura.* PROFICO - Projectos, Fiscalização e Consultadoria, Lda. Lisboa.

MONTEIRO, Mauro F.S. (2011) *Dissipação de energia em edifícios - Aplicação de dissipadores viscosos a um edifício alto.Dissertação de Mestado*. Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. Lisboa.

OLIVEIRA, José (2007). *Laminados de carbono no reforço de estruturas - Opção competitiva.* Arte & Construção - n.º202. Agosto 2007.

P.E. - Parque Escolar (2008). *Peças desenhadas com o faseamento da empreitada - ES/3 Rainha Santa Isabel*. Estremoz.

P.E. - Parque Escolar (2009). *Manual de Projecto: Arquitectura - Versão 2.1.* Programa de Modernização das Escolas do Ensino Secundário. Lisboa.

P.E. - Parque Escolar (2010). *PARQUE ESCOLAR. Renovar Escolas para o Futuro [Vídeo].* Parque Escolar, EPE. [Em linha]. Disponível em *http://www.parque-escolar.pt/*, consultado a 13 de Julho de 2010.

P.E. - Parque Escolar (2011). *Parque escolar 2007-2011 - Intervenção em 106 escolas.* Parque Escolar, EPE. Lisboa.

P.E. - Parque Escolar (2012). Sítio oficial. [Em linha]. Disponível em *http://www.parque-escolar.pt/*, consultado a 07 de Setembro de 2012.

PERESTRELO, Carla (2010). *Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios em Betão Armado - Caso de Estudo da Escola Secundária Rainha Dona Leonor.* Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. Lisboa.

PROENÇA, Jorge M. e GAGO, António S. (2011). *Parque Escolar - Reforço sísmico de edifícios escolares.* Parque Escolar, EPE. Lisboa.

SIKA PORTUGAL, S.A. (2011). *Sika CarboDur - Sistema de reforço estrutural com laminados de fibra de carbono.* Ficha de Produto. Vila Nova de Gaia.

SILVA, Pedro M. (2007). *Reforço Sísmico de Edifícios de Betão Armado. Dissertação de Mestrado.* Departamento de Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico. Lisboa.

THERMOU, E. G. e ELNASHAI, A. S. (2006). *Seismic retrofit schemes for RC structures and local–global consequences.* Journal of Progress - Structural Engineering and Materials, vol. 1, n.º 8. 2006.

U.ÉVORA - Universidade de Évora (2011). Sítio Oficial. [Em linha]. Disponível em *http://www.uevora.pt/*, consultado a 22 de Julho de 2011.

VAZ, Diana R. (2008). *Avaliação de desempenho de edifícios complexos: O edifício escolar dos anos 40 e 50 do século XX em Portugal. Dissertação de Mestrado.* Departamento de Engenharia Civil - Instituto Superior Técnico. Lisboa.

VSTRUCTURAL, LLC. (2012). [Em linha]. Disponível em *http://www.vsl.net/*, consultado a 20 de Setembro de 2012.

WENK, T. (2008). *Seismic retrofitting of structures. Strategies and collection of examples in Switzerland. Environmental studies No. 0832.* Federal Office for the Environment. Bern.

ANEXOS

I. RELATÓRIOS DE VISITAS ÀS EMPREITADAS EM ESTUDO

a. Escola Secundária Rainha Dona Leonor – Lisboa

1.ª Visita – 19 de Outubro de 2010

1ª Parte – Visita ao edifício recuperado

Guia: Arq. Francisco Teixeira Bastos, coordenador e responsável pelo projecto de arquitectura (Atelier dos Remédios).

Percurso: Iniciou-se a visita analisando a envolvente exterior para entender como foi implantado o novo edifício no lote existente. Acedeu-se à escola pela entrada principal verificando-se a solução encontrada para incrementar a claridade do pátio. No primeiro andar pôde-se contemplar a luminosidade existente na biblioteca, mesmo sendo esta orientada a Norte. Inspeccionou-se uma sala adjacente, onde se vislumbrou a solução encontrada pelo arquitecto para ter luz natural com pouca intensidade. Seguiu-se pelo corredor edificado em anel, que permitir aos utentes chegar com facilidade a todas as divisões do edifício. Visitou-se posteriormente a zona desportiva, balneários, polidesportivo coberto, ginásio pequeno e grande. A visita ainda incluiu a cozinha, sala com depósitos para água quente e a casa de recolha de lixos, reciclagem. Subiu-se aos pisos 2 e 3 para visita às salas de professores, admirando-se de uma varanda toda a zona ajardinada. Por último, entrou-se numa sala de aula onde se conversou com uma docente sobre a qualidade acústica dos tectos. Regressou-se à rua pelas escadas principais.

Ideias chave:

- Dificuldades em implementar a solução da Parque Escolar no lote devido à falta de espaço – solucionada através da escavação de talude e da construção do polidesportivo descoberto sobre o coberto;
- Solução de contenção de terras tipo Muros de Berlim;
- Escada de acesso ao polidesportivo coberto escavada à mão no interior do edifício;
- Entrada independente para abastecimento às cozinhas e recolha de lixos;
- Reforço sísmico do ginásio efectuado através da colocação de vigas em cruz formando um pórtico ao longo da parede e tecto;
- Numa óptica de contenção de custos, em alguns locais recuperaram-se janelas de madeira em detrimento do uso de novas em alumínio;
- Sala própria para projecção de filmes com acesso a luz natural controlada;
- Salas de aula voltadas a Sul têm a particularidade de terem vidros escurecidos;
- Elogio por parte de uma docente sobre a qualidade acústica das novas salas;
- Sistema de ventilação – traçado horizontal pelo sótão, descendo em trajectos verticais até aos pontos de saída;
- Melhoramento do isolamento térmico através do sistema *Capotto*.

Ilustração 1 – Entrada

Ilustração 2 – Escada de acesso aos pisos superiores

Ilustração 3 – Sistemas AVAC sobre a cobertura

Ilustração 4 – Cobertura da biblioteca

Ilustração 5 – Biblioteca

Ilustração 6 – Instalações sanitárias dos balneários

2.ª Parte – Visita ao edifício em recuperação

Guia: Arq. Vítor Mingacho, colaborador do gabinete Atelier dos Remédios.

Percurso: Acedeu-se à edificação pela zona central, pela antiga porta principal e visitou-se todo o rés-do-chão onde decorriam em simultâneo obras de demolição, reforço estrutural e montagem de equipamentos. Uma mini-escavadora com martelo hidráulico demolia paramentos e elementos em betão, operários crivavam vigas antigas para posterior incorporação em novos elementos de betão armado. Próximo executavam-se microestacas junto de pilares para reforço estrutural e, construíam-se paredes de betão armado desde as fundações até à cobertura para reforço sísmico. Simultaneamente, trabalhadores montavam suportes para passagem de cablagem e protegiam com plásticos os aparelhos de ventilação colocados no tecto. Subiu-se aos andares superiores onde se procedia à abertura de roços e demolição de elementos. Os RCD's estavam a ser conduzidos para o exterior através de mangas. Visitaram-se as futuras salas de arte, onde irá ser aberta uma entrada de luz natural na cobertura e, os futuros laboratórios, onde serão abertos coretes. Posteriormente, visitou-se o sótão onde se executava o isolamento térmico da cobertura e se montavam o traçado horizontal das condutas de ventilação. Observou-se ainda o terraço praticamente preenchido por equipamentos mecânicos de ventilação, arrefecimento e aquecimento. Por fim, procedeu-se a uma visita pela zona envolvente da edificação, com especial atenção para a zona de armazenamento dos varões de aço, encontrando-se o operador da máquina de dobragem em actividade.

Ideias chaves:

- Reforço estrutural do edifício por dois motivos – reforço sísmico e aumento das cargas na estrutura nomeadamente por causa de maquinaria a colocar na cobertura para ventilação da escola;
- Execução simultaneamente de obras de demolição, de reforço estrutural e montagem de equipamentos por questões de prazos;
- Isolamento térmico da cobertura executado no piso do sótão por ser mais fácil de montar e por não estar inclinado.

Ilustração 7 – Antiga entrada principal

Ilustração 8 – Reforço de fundações com microestacas

Ilustração 9 – Demolições

2.ª Visita – 25 de Outubro de 2010

1ª Parte – Reunião de obra

Coordenador: Eng. João Maltez, colaborador da empresa de fiscalização Tecnoplano.

Síntese: Na reunião teve-se o objectivo de discutir soluções para a implantação de uma *Hotte* e dois armários ventilados na sala de preparação adjacente aos laboratórios. Marcaram presença os representantes da empresa Laborial (fornecedora dos equipamentos), da fiscalização da obra, do arquitecto do projecto, do empreiteiro e responsáveis pelas instalações eléctricas do edifício.

Ideias chaves:

- Análise sala a sala dos locais onde serão colocados os equipamentos, zonas por onde irão passar tubagens, como será elaborado o sistema de alimentação dos motores;
- Discussão e esclarecimento das dimensões de todos os equipamentos e respectivas tubagens;
- Decisão de efectuar um suporte em betão para colocação dos equipamentos de extracção no sótão;
- Definição dos caudais adequados à correcta extracção dos aparelhos.

Ilustração 10 – Estaleiro da obra

2.ª Parte – Visita ao local para pormenorização das soluções encontradas

Guia: Eng. João Maltez, colaborador da empresa de fiscalização Tecnoplano.

Síntese: Visitaram-se as futuras salas de preparação contíguas aos laboratórios visualizando-se no terreno as soluções encontradas na reunião de obra, prevendo-se possíveis dificuldades na sua implementação.

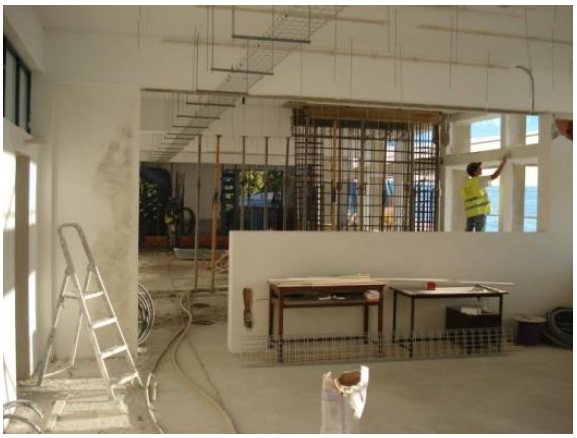


Ilustração 11 – Futuro laboratório

Ilustração 12 – Colocação de tubagens

b. Escola Secundária da Rainha Santa Isabel – Estremoz

1.ª Visita – 27 de Outubro de 2010

1ª Parte – Vistoria à obra

Guia: Arq. José Laranjeira, coordenador e responsável pelo projecto de arquitectura (Oficina Ideias em Linha).

Percurso: Iniciou-se a visita pela observação detalhada dos paramentos que dividem áreas do lote com diferentes cotas, continuando pela análise do pavimento dos corredores de acesso. Observou-se a construção do resguardo dos equipamentos de aquecimento/arrefecimento da escola, edificados no solo junto ao edifício. Acedeu-se à futura biblioteca, verificando-se a configuração do mobiliário. Subiu-se à cobertura para análise de pormenores construtivos referentes ao equipamento e tubagens de ventilação e para observação exterior das zonas desportivas, ginásio e polidesportivo coberto. Visualização dos painéis solares para aquecimento de água dos balneários recentemente montados e da movimentação de terras para a construção de campos de jogos descobertos. Definição dos recipientes e locais para a colocação de lixo.

Ideias chave:

- Tubagens para ventilação e reforço estrutural feitos pelo exterior;
- Edifício revestido a placas de betão;
- Placa da fachada descaiu;
- Pavimento dos corredores de acesso executado em betuminoso.
- Equipamento de ventilação montado na cobertura, o complemento de aquecimento ou arrefecimento colocado no solo.

Ilustração 13 – Acesso ao edifício principal

Ilustração 14 – Equipamento de aquecimento/arrefecimento

2.ª Parte – Visita à zona finalizada

Guia: Arq. José Laranjeira, coordenador e responsável pelo projecto de arquitectura (Oficina Ideias em Linha).

Percurso: Acedeu-se ao edifício pela antiga entrada onde funciona o núcleo museológico, visitando-se seguidamente toda a zona administrativa, secretaria, conselho executivo, arquivo. Cruzou-se a sala do pessoal auxiliar e loja do aluno, entrando-se no espaço onde funciona o bar e o refeitório. Visitaram-se as salas atribuídas aos clubes escolares, as salas de artes, a enoteca e a sala de teatro, assim como o pombal existente no espaço exterior. Subiu-se as escadas centrais entrando-se numa das instalações sanitárias e no compartimento onde são colocados os sistemas informáticos e de comunicação. Visitaram-se as salas de aulas e as salas de professores. Entrou-se ainda nos laboratórios de biologia, geologia, física e química e nas respectivas salas de preparação equipadas com *hotte* e armários ventilados. Por fim, visitou-se o interior do ginásio, sala de conferências e campo de jogos coberto com os respectivos balneários. Do exterior do lote pôde contemplar-se o parque de estacionamento.

Ideias chaves:

- Salas de aula mantêm as mesmas dimensões espaciais;
- Sistemas de ventilação apresentam traçado vertical pelas fachadas, entrando no edifício em cada compartimento específico, apresentando um traçado horizontal com dois pontos fuga – insuflação e extracção do ar;
- Corredores considerados espaços exteriores para evitar a necessidade de extractores de fumo mecânicos;
- Antiga escada central do edifício foi demolida para construção de uma que obedeça ao regulamento contra incêndios e para instalar sanitários em todos os pisos;
- Polidesportivo equipado com cobertura autoportante, o que permite vencer maiores vãos;
- Área de oficinas foi reduzida aplicando-se aos novos *curricula*.

Ilustração 15 – Fachada principal

Ilustração 16 – Ginásio com corredores de acesso

Ilustração 17 – Campo de jogos coberto

Ilustração 18 – Bar e refeitório

2.ª Visita – 04 de Novembro de 2010

Síntese: Fotografou-se pormenores em falta. Visitou-se a cozinha, com as zonas de preparação de carne, peixe e legumes, despensa, lavagens e zona de lixos. Acedeu-se às oficinas aptas para leccionar cursos de electricidade/electrónica.

Ilustração 19 – Equipamentos de cozinha

Ilustração 20 – Laboratório de electrónica

II. LEVANTAMENTO FOTOGRÁFICO

a. Escola Secundária Rainha Dona Leonor – Lisboa

i. Localização

Ilustração 21 – Implantação da obra no Bairro de Alvalade, junto ao Parque de Jogos 1.º de Maio (Lisboa), adaptado de (Google, 2009)

ii. Antes da intervenção

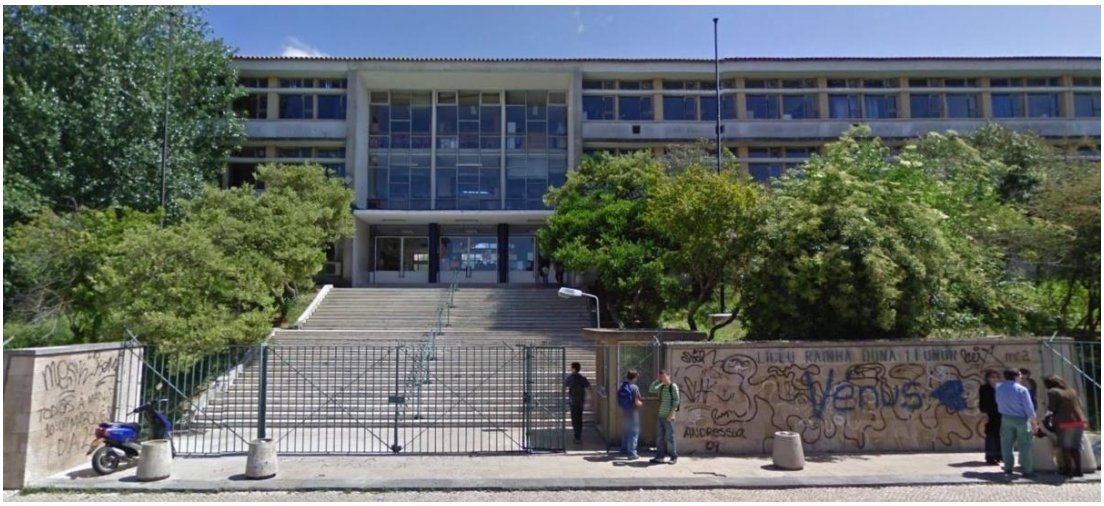


Ilustração 22 – Entrada principal (fachada Norte), adaptado de (Google, 2009)

Ilustração 23 – Escadaria central (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 24 – Estátua da Rainha Dona Leonor da autoria de Mestre Soares Branco (tirada em 23-02-2011) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 25 – Pátio (P.E., 2012)

Ilustração 26 – Corredor central (P.E., 2012)

Ilustração 27 – Sala de aula (P.E., 2012)

Ilustração 28 – Laboratório (P.E., 2012)

iii. Durante a empreitada

Ilustração 29 – Zona entre a laje de esteira e a cobertura inclinada (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 30 – Isolamento térmico da laje de esteira (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 31 – Janelas de alumínio (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 32 – Janelas restauradas (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 33 – Condutas de ventilação (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 34 – Corredor central (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 35 – Piquetagem de viga (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 36 – Demolição de viga (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

iv. Após conclusão das obras

Ilustração 37 – Pátio (tirada em 23-02-2011) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 38 – Entrada principal (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 39 – Portaria (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 40 – Pormenor de talude (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 41 – Fachada Norte (tirada em 25-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 42 – Fachada Sul (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 43 – Secretaria (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 44 – Laboratório Biologia (tirada em 23-02-2011) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 45 – Balneários (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 46 – Sala de apresentações (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 47 – Condutas de ventilação (tirada em 19-10-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

b. Escola Secundária da Rainha Santa Isabel – Estremoz

i. Localização

Ilustração 48 – Implantação da obra, adaptado de (Google, 2009)

ii. Antes da intervenção

Ilustração 49 – Fachada Sudoeste (tirada em 25-07-2008) – (Abrantes, 2008)

Ilustração 50 – Alçado Sudeste (tirada em 25-07-2008) – (Laranjeira, 2008-2010)

Ilustração 51 – Corpo do ginásio (tirada em 25-07-2008) adaptada de (Laranjeira, 2008-2010)

Ilustração 52 – Corredores de ligação cobertos (tirada em 25-07-2008) – (Abrantes, 2008)

Ilustração 53 – Antiga entrada principal (tirada em 18-02-2008) – (Laranjeira, 2008-2010)

Ilustração 54 – Secretaria (tirada em 25-07-2008) – (Laranjeira, 2008-2010)

Ilustração 55 – Refeitório (tirada em 18-02-2008) – (Laranjeira, 2008-2010)

Ilustração 56 – Sala de aula (tirada em 25-07-2008) – (Laranjeira, 2008-2010)

Ilustração 57 – Sala de convivo de alunos (tirada em 25-07-2008) – (Laranjeira, 2008-2010)

Ilustração 58 – Laboratório de biologia (tirada em 25-07-2008) – (Laranjeira, 2008-2010)

Ilustração 59 – Corpo de oficinas de mecânica (tirada em 25-07-2008) – (Abrantes, 2008)

Ilustração 60 – Sala de aulas de electricidade (tirada em 25-07-2008) – (Abrantes, 2008)

Ilustração 61 – Pormenor sistema de aquecimento (tirada em 18-02-2008) – (Laranjeira, 2008-2010)

iii. Durante a empreitada

Ilustração 62 – Demolições na zona das oficinas (tirada em 06-10-2009) – (Laranjeira, 2008-2010)

Ilustração 63 – Condutas pelo exterior da fachada (Jacinto, 2008-2010)

Ilustração 64 – Painéis de fachada em GRC tipo "*Glasscrete*" (tirada em 24-03-2010) – (Laranjeira, 2008-2010)

iv. Após conclusão das obras

Ilustração 65 – Fachadas viradas a Sul (tirada em 16-11-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 66 – Topo Nordeste, Bloco A (tirada em 09-09-2011) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 67 – Sala de aula (tirada em 04-11-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 68 – Bloco B (tirada em 04-11-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 69 – Sala de teatro (tirada em 04-11-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 70 – Laboratório de biologia (tirada em 04-11-2010) – (fotografia do autor, 2010-11)

Ilustração 71 – Campos de jogos (tirada em 09-09-2011) – (fotografia do autor, 2010-11)